

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Электроснабжение химического завода

УДК 621.31.031:66,013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3ДЗ	Романов Алексей Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тарасов Е.В.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская А.М.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных пред- приятий	Шестакова В.В.	д.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>бакалаврской работы</b>
----------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
З-5АЗДЗ	Романов Алексей Сергеевич

Тема работы:

Электроснабжение химического завода
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>а) ген.план с размещением производственно–вспомогательных цехов;</i>  <i>б) сведения об электрических нагрузках цеха;</i>  <i>в) план цеха;</i>  <i>г) сведения об электрических нагрузках предприятия. .</i></p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструиро-</i></p>	<p><i>Введение;</i>  <i>Описание предприятия;</i>  <i>Картограмма и определение центра электрических нагрузок;</i>  <i>Схема внешнего и внутрипроизводственного электроснабжения;</i>  <i>Внутривзаводская распределительная сеть 10 кВ;</i>  <i>Расчет токов короткого замыкания в сетях выше 1000 В;</i></p>

вания; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Выбор высоковольтного оборудования; Электроснабжение цеха полимеризации; Расчет электрической сети по потере напряжения; Расчет токов короткого замыкания в сетях ниже 1000 В; Построение карты селективности действия защиты
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Генплан предприятия, картограмма нагрузок. 2. План кузнечного цеха 3. однолинейная схема электроснабжения завода. 4. однолинейная схема электроснабжения цеха 5. Карта селективности, эпюра отклонения напряжения.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Ледовская Анна Михайловна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тарасов Е.В.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д3	Романов Алексей Сергеевич		

## Оглавление

Введение .....	4
Задание.....	5
Определение расчетной нагрузки кузнечного цеха химического завода....	8
Определение расчетной нагрузки предприятия в целом.....	11
Картограмма и определение центра электрических нагрузок.....	15
Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций.....	18
Схема внешнего электроснабжения.....	22
Схема внутривозводской сети 10кВ.....	26
Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.....	32
Выбор коммутационных аппаратов.....	37
Электроснабжения кузнечного цеха.....	42
Финансовый менеджмент.....	74
Социальная ответственность.....	84
Заключение.....	98
Список литературы.....	99

## **Введение**

В наше время многие сферы жизнедеятельности человечества взаимосвязано с электричеством, без него уже мы не чувствуем себя в комфорте. Электроэнергия быстро внедряется во все сферы жизни общества. Ежедневно строится новые здания, которым необходимо снабжение электроэнергией. И основной целью энергетиков, в первую очередь, является бесперебойного обеспечение всех потребителей электроэнергии. При этом система электроснабжения должна отвечать современным требованиям и быть не дорогой. Для выполнения этих задач необходимо сделать все необходимые расчеты, опираясь на них будет влиять выбор электрооборудования. В этой работе мы будем рассчитывать систему электроснабжения химического завода, в частности электроснабжение кузнечного цеха. Воспользуемся всеми полученными знаниями в ходе обучения, проведем все необходимые расчеты, по которым выберем схему электроснабжения, выбор силового оборудования, тип и марку силовых линий, воздушных линий и кабельных линий электропередач, защитного оборудования. Осуществим все нужные проверки, для точности всех вычислений, рассчитаны в данной работе. В конце работы мы должны будем получить высококачественную и долговечную систему электроснабжения, соответствующим всем современным требованиям.

# 1. ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА

## Генплан химического комбината

Таблица 1.1 - Сведения об электрических нагрузках

N на плане	Наименование цеха	Установленная мощность, кВт
1	Сернокислотное отделение	700
2	Печное отделение №1	680
3	Кислотное отделение	580
4	Склад аппатита	420
5	Операционное отделение	600
6	Склад готовой продукции	350
7	Цех фторсолей	1100
8	Кузнечный цех	—
9	Печное отделение №2	350
10	Цех тукосмесей	200
11	Ремонтно-механический цех	510
12	Цех суперфосфата	550
13	Компрессорная	
	10 кВ	1600
	0,38 кВ	160
14	Заводоуправление	370
15	Цех СМС	500
16	Котельная	700

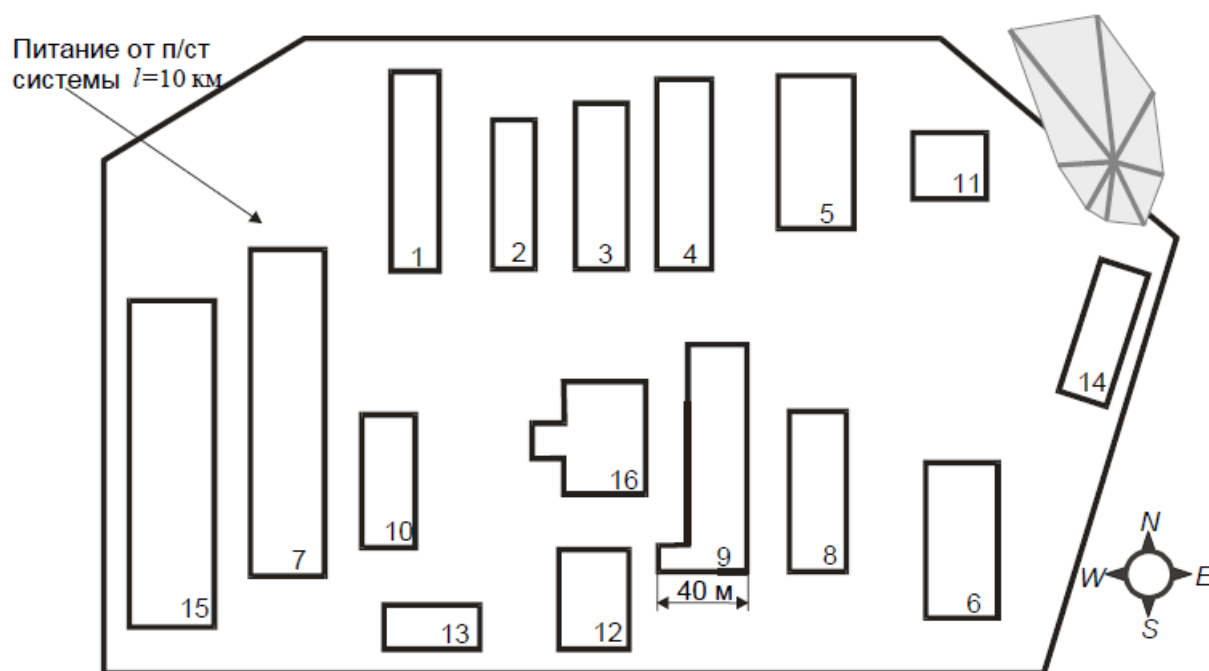


Рисунок 1.1- Генплан химического завода

## План кузнечного цеха

Таблица 1.2 - Сведения об электрических нагрузках

Номер на плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт
		Номер варианта
		0
1,2, 6,30	Кран-балка ПВ=40%	20
18	Пресс	40
3-5	Фрезерный станок	7
7,10	Трубогибочный станок	14
9,26	Шлифовальный станок	8
8,12, 13,14,24	Сварочный трансформатор ПВ=25%	40
31	Вентилятор	7
15,27	Сушильный шкаф	8
16,17	Закалочная печь	40
19-23, 25,34	Токарный станок	6
37	Сверлильный станок	4
28,29	Электрованна	30
32,36	Электромолот	25
38	Поворотный кран	5
33,40	Вентилятор горна	15
35	Обдирочный станок	21
39	Нагревательная плита	10



Рисунок 1.2 – План кузнечного цеха

Таблица- 1.3 Характеристика среды производственных помещений

№ п/п	Наименование цехов	Характеристика производственных помещений
1.	Сернокислотное отделение	Пыльная
2.	Печное отделение №1	Жаркая ,пыльная
3.	Кислотное отделение	Жаркая ,пыльная
4.	Склад аппатита	Нормальная
5.	Операционное отделение	Нормальная
6.	Склад готовой продукции	Нормальная
7.	Цех фторсолей	Нормальная
8.	Кузнечный цех	Жаркая
9.	Печное отделение №2	Жаркая
10.	Цех тукосмесей	Пыльная
11.	Ремонтно-механический цех	Нормальная
12.	Цех суперфосфата	Пыльная
13.	Компрессорная	Нормальная
14.	10 кВ	
15.	0,38 кВ	
16.	Заводоуправление	Нормальная

Таблица -1.4 Категорийность электроприёмников по цехам

№ п/п	Наименование цехов	Категории ЭП по степени бесперебойности пита- ния
1.	Сернокислотное отделение	II
2.	Печное отделение №1	II
3.	Кислотное отделение	II
4.	Склад аппатита	III
5.	Операционное отделение	II
6.	Склад готовой продукции	III
7.	Цех фторсолей	II
8.	Кузнечный цех	III
9.	Печное отделение №2	II
10.	Цех тукосмесей	II
11.	Ремонтно-механический цех	III
12.	Цех суперфосфата	III
13.	Компрессорная	
14.	10 кВ	II
15.	0,38 кВ	III
16.	Заводоуправление	III



## 2. Определение расчётной нагрузки кузнечного цеха химического завода

**Все электроприёмники разделим на две группы:**

- Группа А – ЭП с переменным графиком нагрузки  $K_{и} < 0,6$
- Группа Б – ЭП с постоянным графиком нагрузки  $K_{и} \geq 0,6$

Таблица 2.1- Справочные данные для ЭП кузнечного цеха

Наименование ЭП	$K_{и}$	$\cos\varphi$
Станки разные	0,14	0,5
Кран-балки, краны	0,06	0,6
Сварочный трансформатор	0,2	0,4
Электромолот	0,3	0,6
Пресс	0,25	0,65
Электрованна	0,55	0,95
Вентиляторы	0,75	0,8
Сушильный шкаф	0,75	0,95
Закалочная печь	0,8	0,95
Нагревательная плита	0,55	0,77

\* Данные таблицы были приняты согласно справочной литературе [1, стр.119-121]

**Определение установленной мощности, приведенной к ПВ=100%:**

- Трансформатор сварочный  $P_{ном} = P_{п} \cdot \sqrt{ПВ} = 40 \cdot \sqrt{0,25} = 20$  (кВт)
- Кран-балка  $P_{ном} = P_{п} \cdot \sqrt{ПВ} = 20 \cdot \sqrt{0,4} = 12,6$  (кВт)

**Определение  $K_{и.ср}$  по группе А:**  $K_{и.ср} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}} = \frac{104,69}{437,2} = 0,24$

**Определение эффективного числа электроприёмников  $n_{э}$ :**

т.к.  $m > 3$  и  $K_{и.ср} > 0,2$  то  $n_{э} = \frac{2 \sum P_{н}}{P_{н.мах}} = \frac{2 \cdot 437,2}{40} = 22.$

**Определение осветительной нагрузки:**

$P_{р.о.} = K_{с.о.} \cdot P_{н.о.}$ ; где

$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F_{ц}$ ;  $P_{уд.о.} = 14$  (Вт/м<sup>2</sup>);  $K_{с.о.} = 0,95$ .

$F_{ц} = 2583,44$  (м<sup>2</sup>);

$P_{н.о.} = 0,014 \cdot 2583,44 = 36,17$  (кВт);

$P_{р.о.} = 0,95 \cdot 36,17 = 34,36$  (кВт).

### **Определение расчётной нагрузки:**

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{289,91^2 + 161,11^2} = 338,41 \text{ (кВА)}.$$

### **Определение расчётного тока**

$$\text{Расчётный ток } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{338,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 514,4 \text{ (А)}$$

Расчёты систематизируем в виде таблицы №2.2, представленной ниже.

Таблица 2.2- Определение расчётных нагрузок кузнечного цеха

№ п/п	Питающие магистрали и группы электроприемников	Количество ЭП <i>n</i>	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%, кВт		<i>m</i> = $P_{н.макс} / P_{н.мин}$	Коэффициент использования <i>K</i> <sub>и</sub>	cosφ / tgφ		Средняя нагрузка за максимально за-груженную смену		Эффективное число электроприем-ников <i>n</i> <sub>э</sub>	Коэффициент максимума <i>K</i> <sub>м</sub>	Максимальная нагрузка		
			одного ЭП (наимень-шего, наибольшего), <i>P</i> <sub>и</sub>	общая <i>P</i> <sub>и</sub>					$P_{см} = K_{и} P_{и},$ кВт	$Q_{см} = P_{см} tgφ_{см},$ кВар			$P_{м} = K_{м} P_{см},$ кВт	$Q_{м} = Q_{см}$ при <i>n</i> <sub>э</sub> >10, $Q_{м} = 1,1 Q_{см}$ при <i>n</i> <sub>э</sub> ≤10, кВар	$S_{м} = P_{м}^2 + Q_{м}^2,$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8		9	10	11	12	13	14	15
	Приёмники группы А														
1	Кран- балка ПВ=40%	2	12,60	25,20		0,06	0,50	1,73	1,512	2,619					
2	Фрезерный станок	4	7,00	28,00		0,14	0,60	1,33	3,920	5,227					
3	Пресс	1	40,00	40,00		0,25	0,65	1,17	10,000	11,691					
4	Токарный станок	7	6,00	42,00		0,14	0,60	1,33	5,880	7,840					
5	Сверлильный станок	1	4,00	4,00		0,14	0,60	1,33	0,560	0,747					
6	Электрованна	2	30,00	60,00		0,55	0,95	0,33	33,000	10,847					
7	Поворотный кран	1	5,00	5,00		0,06	0,50	1,73	0,300	0,520					
8	Трубогибочный станок	4	14,00	56,00		0,14	0,60	1,33	7,840	10,453					
9	Шлифовальный станок	2	8,00	16,00		0,14	0,60	1,33	2,240	2,987					
10	Сварочный трансформатор ПВ=25%	4	20,00	80,00		0,20	0,40	2,29	16,000	36,661					
11	Обдирочный станок	1	21,00	21,00		0,14	0,60	1,33	2,940	3,920					
12	Электролом	2	25	50		0,30	0,60	1,33	15,000	20,000					
13	Нагревательная плита	1	10	10		0,55	0,77	0,83	5,500	1,808					
	Итого по группе А	32	4-40	437,2	>3	0,24	--		104,69	115,32	22	1,45	151,80	115,32	190,64
	Приёмники группы Б														
14	Сушильный шкаф	2	8,00	16,00		0,75	0,95	0,33	12,000	3,944					
15	Закалочная печь	2	40,00	80,00		0,80	0,95	0,33	64,000	21,036					
16	Вентилятор	1	7,00	7,00		0,75	0,80	0,75	5,250	3,938					
17	Вентилятор горна	2	15,00	30,00		0,75	0,80	0,75	22,500	16,875					
	Итого по группе Б	7	7-40	133	>3	0,78	--		103,75	45,79	5	1	103,75	45,79	113,41
	Итого силовая нагрузка (гр.А и Б)	39	4-40	570,2	--	--	--		208,44	161,11	--	--	255,55	161,11	304,05
	Электрическое освещение		--	36,17	--	Kс=0,95	--		34,36	--	--	--	34,36	--	34,36
	Итого по цеху		--	606,37	--	--	--		242,8	161,11	--	--	289,91	161,11	338,41

### 3. Определение расчётной нагрузки предприятия в целом

Расчётная полная мощность предприятия определяется по расчётным активным и реактивным нагрузкам цехов (до и выше 1000 В) с учётом расчётной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ГПП и потерь в высоковольтных линиях.

Расчётная нагрузка (активная и реактивная ) силовых приёмников цехов определяются из выражений:

$$P_p = K_c \cdot P_n;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $P_p$  – суммарная установленная мощность всех приёмников цеха;

$K_c$  – коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным;

$\operatorname{tg} \varphi$  – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности;

Приёмники напряжением выше 1000 В учитывается отдельно. Расчётная активная и реактивная мощности групп приёмников выше 1000 В определяются по выше приведённым формулам. Расчёты систематизируем в виде таблицы №7, представленной ниже.

Так как трансформаторы цеховых подстанций и кабели распределительной сети еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них можно определить из выражений:

$$\Delta P_m = 0,02 S_p^H;$$

$$\Delta Q_m = 0,1 S_p^H;$$

$$\Delta P_l = 0,03 S_p^H,$$

где  $S_p^H$  – расчётная мощность предприятия на шинах напряжением до 1000 В за максимально загруженную смену.

Для удобства дальнейшего расчёта систематизируем данные в виде таблицы.

Таблица 3.1- Суммарные значения мощностей ЭП

Суммарное Значение мощности	Электроприёмники до 1000 В	Электроприёмники выше 1000 В
$\sum P_p$ , кВт	3923,05	1200
$\sum Q_p$ , кВар	3388,1	900
$\sum P_{po}$ , кВт	467,89	—

$$S_p^H = \sqrt{(\sum P_p^H + \sum P_{po})^2 + \sum Q_p^{H^2}} = \sqrt{(3923,05 + 467,89)^2 + 3388,1^2} = 5546,13 \text{ (кВА)}$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 5546,13 = 110,92 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 5546,13 = 554,61 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 5546,13 = 166,38 \text{ кВт}$$

Суммарные расчётные активная и реактивная мощности, отнесённые к шинам 10 кВ ГПП, определяются из выражений:

$$P_{p\Sigma} = (\sum P_p^H + \sum P_p^6) K_{pm} + \sum P_{po} + \Delta P_T + \Delta P_{\text{л}} = (3923,05 + 1200) 0,95 + 467,89 + 110,92 + 166,38 = 5612 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma} = (\sum Q_p^H + \sum Q_p^6) K_{pm} + \Delta Q_T = (3388,1 + 900) 0,95 + 554,61 = 4628,305 \text{ кВАр}$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{5612^2 + 4628,305^2} = 7274,32 \text{ кВА}$$

где  $K_{p.m}$  – коэффициент одновременности максимумов нагрузки отдельных групп электроприёмников, принимаемый 0,95 согласно [3, стр.32]

Таблица 3.2- Определение полной нагрузки предприятия в целом

N по ген- план у	Наименование потреби- телей (цехов)	Силовая нагрузка					Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузки		
		P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	cosφ/tgφ	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	F, м <sup>2</sup>	P <sub>уд о</sub> , кВт/м	P <sub>но</sub> , кВт	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> , кВт	P <sub>р</sub> +P <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	S <sub>р</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Потребители электроэнергии 0,38 кВ														
1	Сернокислотное отделение	<b>700</b>	0,55	0,75/0,88	385	338,80	1963,52	0,017	33,38	0,95	31,71	416,71	338,80	537,06
2	Печное отделение №1	<b>680</b>	0,8	0,90/0,48	408	195,84	1287,59	0,015	19,31	0,95	18,35	426,35	195,84	469,18
3	Кислотное отделение	<b>580</b>	0,55	0,75/0,88	319	280,72	1683,94	0,017	28,63	0,95	27,20	346,2	280,72	445,71
4	Склад аппатита	<b>420</b>	0,2	0,50/1,73	84	145,32	2183,93	0,014	30,58	0,60	18,35	102,35	145,32	177,75
5	Операционное отделение	<b>600</b>	0,4	0,80/0,75	240	180,00	2291,56	0,017	38,96	0,90	35,06	275,06	180,00	328,72
6	Склад готовой продукции	<b>350</b>	0,2	0,50/1,73	70	121,10	2187,42	0,014	30,62	0,60	18,37	88,37	121,10	149,91
7	Цех фторсолей	<b>1100</b>	0,45	0,75/0,88	495	435,60	4617,93	0,014	64,65	0,95	61,42	556,42	435,60	706,65
8	Кузнечный цех	<b>606</b>	—	—	255,55	161,11	2583	—	—	—	34,36	289,91	161,11	338,41
9	Печное отделение №2	<b>350</b>	0,8	0,90/0,48	280	134,40	2839,06	0,015	42,59	0,95	40,46	320,46	134,40	347,50
10	Цех тукосмесей	<b>200</b>	0,45	0,75/0,88	90	79,20	1489,57	0,014	20,85	0,95	19,81	109,81	79,20	135,39
11	Ремонтно-механический цех	<b>510</b>	0,30	0,60/1,33	153	203,49	1006,33	0,016	16,10	0,95	15,30	168,3	203,49	264,07
12	Цех суперфосфата	<b>550</b>	0,45	0,75/0,88	247,5	217,80	1433,98	0,014	20,08	0,95	19,07	266,57	217,80	344,23
13	Компрессорная													0,00
	0,38 кВ	<b>160</b>	0,8	0,85/0,62	128	79,36	890,59	0,014	12,47	0,95	11,84	139,84	79,36	160,79
14	Заводоуправление	<b>370</b>	0,4	0,80/0,75	148	338,80	1313,12	0,014	18,38	0,90	16,55	164,55	338,80	376,65
15	Цех СМС	<b>500</b>	0,4	0,75/0,88	200	195,84	5497,57	0,014	76,97	0,95	73,12	273,12	195,84	336,08
16	Котельная	<b>700</b>	0,6	0,75/0,88	420	280,72	2023,03	0,014	28,32	0,95	26,91	446,91	280,72	527,76
	Территория завода	---	---	---	---	---	85035	0,22 Вт	---	0,6	18,7	---	---	---
	Итого по 0,38 кВ	8376			3923,05	3388,1			481,9		467,89	4390,93	3388,1	5645,86
Потребители электроэнергии 10 кВ														
17	Компрессорная	1600	0,75	0,80/0,75	1200	900	---	---	---	---	---	1200	900	1500
	Итого по 10 кВ	1600	---	---	1200	900	---	---	---	---	---	1200	900	1500
	Итого	9976			5123,05	4288,1						5590,93	4288,1	7145,86

Потери мощности в трансформаторах ГПП определяются:

$$\Delta P_T^{ГПП} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 7145,86 = 143 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T^{ГПП} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 7145,86 = 715 \text{ кВАр}$$

Полная расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП определяется:

$$S_{P.ГПП} = \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{m.ГПП})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{m.ГПП} - Q_{ку})^2},$$

где  $Q_{ку}$  – мощность компенсирующих устройств.

$$Q_{ку} = Q_{p\Sigma} - Q_c;$$

где  $Q_c$  – наибольшее значение реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы в сеть предприятия в режиме наибольших активных нагрузок энергосистемы:

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma}.$$

Так как  $S_{p\Sigma} < 10000$  (кВА), принимаем  $\alpha = 0,24$  для предприятий, расположенных в Сибири и величине напряжения питающей линии 35 (кВ) согласно [3, стр.35,41]

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 5123 = 1229,52 \text{ кВАр}$$

$$Q_{ку} = Q_{p\Sigma} - Q_c = 4288,1 - 1229,52 = 3058,58 \text{ кВАр};$$

$$S_{P.ГПП} = \sqrt{(5123 + 143)^2 + (4288,1 + 715 - 3058,58)^2} = 5613,6 \text{ кВА. (кВА)}.$$

#### 4. Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок представляет собой размещённые на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определённом масштабе соответствуют расчётным нагрузкам цехов.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяются из выражения:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}},$$

где  $S_{pi}$  – расчётная площадь  $i$  – го цеха с учётом освещения, кВА;

$m$  – масштаб для определения площади круга, кВА/мм<sup>2</sup> (постоянный для всех цехов предприятия).

Силовые нагрузки до и выше 1000 В изображаются отдельными кругами или секторами в круге. Считаем, что нагрузка по цеху распределена равномерно, поэтому центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане.

Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора ( $\alpha$ ) определяется из соотношения полных расчётных ( $S_{pi}$ ) и осветительных нагрузок ( $P_{po}$ ) цехов:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}}.$$

Расчёты систематизируем в виде таблицы №9, представленной ниже.

На генплане завода произвольно наносятся оси координат и определяются значения  $x_i$  и  $y_i$  для каждого цеха. Координаты центра электрических нагрузок завода  $x_o$  и  $y_o$  определяются по формулам:

$$x_o = \frac{\sum S_{pi} \cdot x_i}{\sum S_{pi}}, \quad y_o = \frac{\sum S_{pi} \cdot y_i}{\sum S_{pi}}.$$



Таблица 4.1- Расчётные данные для построения картограммы нагрузок

№ цеха на генплане	$S_{pi}$ , кВА	$P_{po}$ , кВт	$r$ , мм	$\alpha$ , град	$\chi_i$ , м	$y_i$ , м	$S_{pi} \cdot \chi_i$ , кВА·м	$S_{pi} \cdot y_i$ , кВА·м	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потребители 0,38 кВ									
1.	537,06	31,71	11	21	136	223	73040,16	119764,38	m=1 кВА/мм²
2.	469,18	18,35	10	14	180	211	84452,4	98996,98	
3.	445,71	27,2	10	22	218	216	97164,78	96273,36	
4.	177,75	18,35	6	37	255	221	45326,25	39282,75	$x_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot \chi_i}{\sum S_{pi}} = \frac{1486817}{7475} = 199; \text{ (м)}$
5.	328,72	35,06	8	38	312	231	102560,6	75934,32	
6.	149,91	18,37	6	44	377	599	56516,07	89796,09	
7.	706,65	61,42	12	31	80	116	56532	81971,4	
8.	331,67	34,36	8	37	313	82	157689,4	41311,6	$y_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot y_i}{\sum S_{pi}} = \frac{938741}{7475} = 126. \text{ (м)}$
9.	347,5	40,46	9	42	269	93	93477,5	32317,5	
10.	135,39	19,81	5	53	125	87	16923,75	11778,93	
11.	264,07	15,3	7	21	371	224	97969,97	59151,68	
12.	344,23	19,07	9	20	216	34	74353,68	11703,82	
13.	160,79	11,84	6	27	145	22	23314,55	3537,38	
14.	376,65	16,55	9	16	440	152	165726	57250,8	
15.	336,08	73,12	8	78	29	93	9746,32	31255,44	
16.	527,76	26,91	11	18	217	105	114523,9	55414,8	
Потребители 10 кВ									
11.	1500	---	18	---	145	22	217500	33000	—
Итого	7475,77	---	---	---	---	---	1486817,33	938741,23	—

\* Так как расположить ГПП в центре электрических нагрузок невозможно, смещаем его в сторону питания от системы.

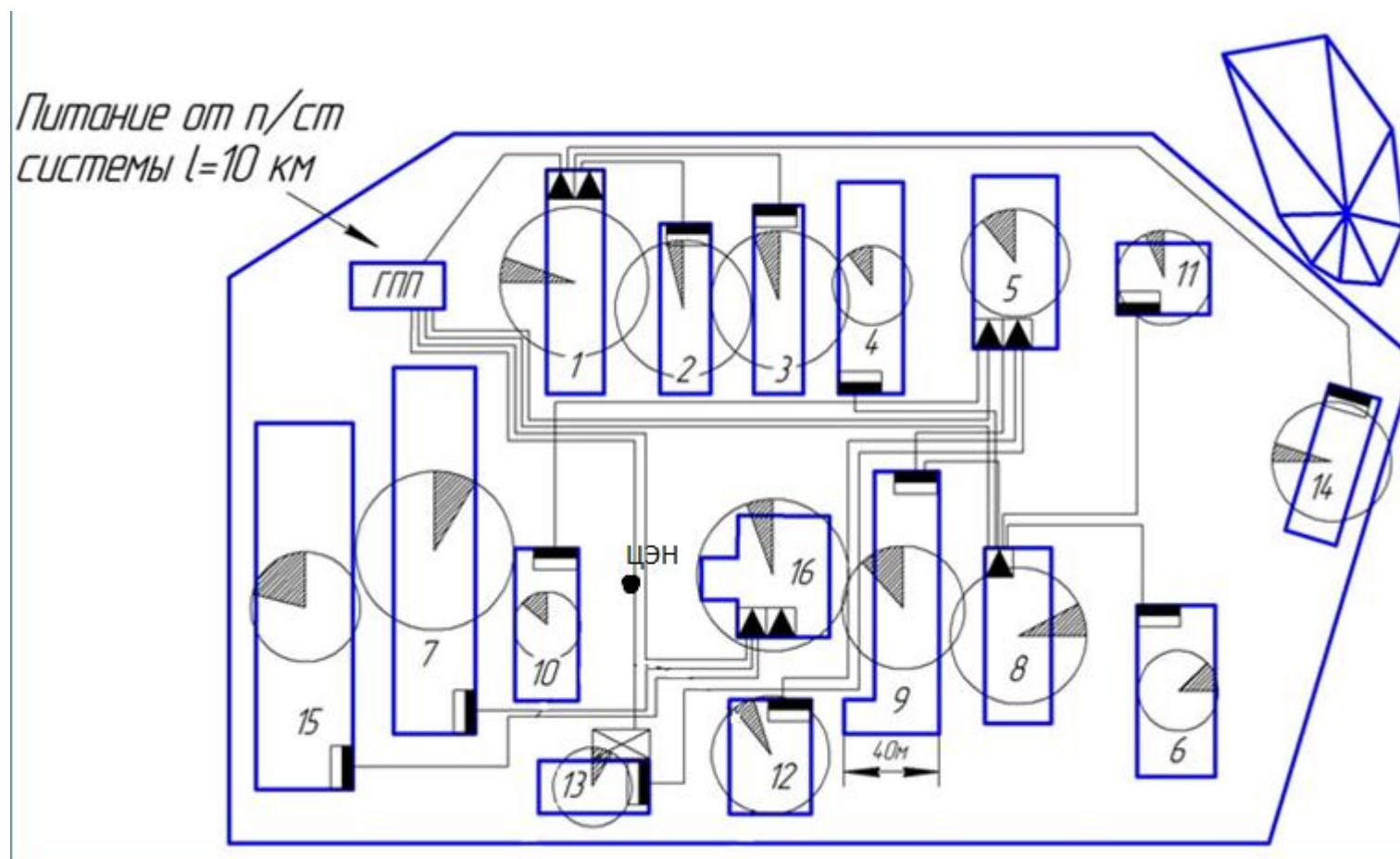


Рисунок 4.1 - Генплан предприятия с картограммой нагрузок

## 5. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

При установке на крупных промышленных предприятиях группы цеховых трансформаторов их номинальная мощность определяется плотностью нагрузки и выбирается, как правило, одинаковой для всей группы. Удельная плотность нагрузки определяется по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{\text{цехов}}} = \frac{5546,13}{35292} = 0,16 \text{ кВА} / \text{м}^2$$

где  $F_{\text{цехов}}$  – площадь всех цехов предприятия,  $\text{м}^2$ .

В зависимости от полученной плотности нагрузки, наиболее предпочтителен вариант номинальной мощности цеховых трансформаторов 1000 (кВА).

Минимальное возможное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_0 = \frac{\sum (P_p + P_{p.o})}{\beta_m \cdot S_{н.тр}},$$

где  $\beta_m$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме (принимается 0,7 согласно [3, стр.41]).

$\sum P_p^H$  – номинальная расчётная активная мощность в сетях до 1000 В, кВт.

$$N_0 = \frac{\sum (P_p^H + P_{p.o})}{\beta_T \cdot S_{н.тр}} = \frac{3923 + 468}{0,7 \cdot 1000} = 6,27$$

Полученное значение округляем до ближайшего большего целого значения  $N=7$  шт.

После выбора числа и мощности цеховых трансформаторов распределяют активные нагрузки цехов между ними равномерно. Активная нагрузка приходящая на один цеховой трансформатор может быть определена по формуле:

$$P_1 = \frac{P_p + P_{p.o}}{N} = \frac{3923 + 468}{7} = 627 \text{ (кВт)}.$$

Число трансформаторов  $N_i$ , которое следует установить в том или ином цехе, определяется делением нагрузки цеха  $(P_p + P_{p.o})_i$  на  $P_1$ :

$$N_i = \frac{(P_p + P_{p.o})_i}{P_1}.$$

Для систематизации расчёта представим полученное число трансформаторов, устанавливаемое в каждом цехе в виде таблицы №10, представленную ниже.

Таблица 5.1- Число трансформаторов в цехе

№ цеха на генплане	Наименование цехов	$P_p + P_{p.o}$ , кВт	Количество трансформаторов $N$ , шт
1.	Сернокислотное отделение	416,71	0,66
2.	Печное отделение №1	426,35	0,68
3.	Кислотное отделение	346,2	0,55
4.	Склад аппатита	102,35	0,16
5.	Операционное отделение	275,06	0,44
6.	Склад готовой продукции	88,37	0,14
7.	Цех фторсолей	556,42	0,88
8.	Кузнечный цех	289,91	0,46
9.	Печное отделение №2	320,46	0,51
10.	Цех тукосмесей	109,81	0,17
11.	Ремонтно-механический цех	168,3	0,27
12.	Цех суперфосфата	266,57	0,42
13.	Компрессорная 0,38 кВ	139,84	0,22
14.	Заводоуправление	164,55	0,26
15.	Цех СМС	273,12	0,43
16.	Котельная	446,91	0,71

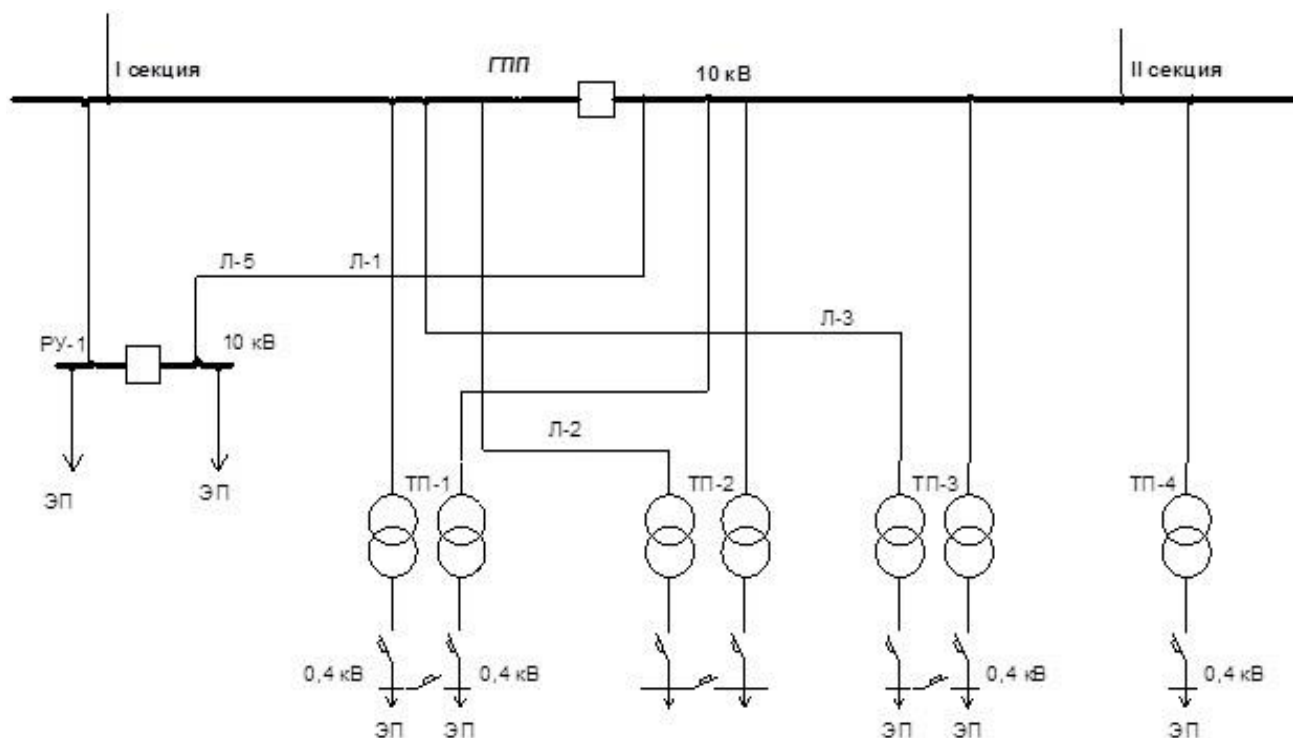


Рисунок 5.1- Схема питания цеховых подстанций и высоковольтных электроприёмников.

Таблица 5.2- Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

№ п/п	Наименование пункта питания	Потребители электроэнергии	Месторасположение пунктов питания на генплане	Мощность цеховых ТП	Примечания
1.	ТП – 1	Цех– 1, 2, 3, 14	1	2х2500	
2.	ТП – 2	Цеха – 7,15,16	16	2х1600	
3.	ТП – 3	Цеха – 5, 9, 10, 12, 13	5	2х1600	
4.	ТП – 4	Цех – 4, 6, 8, 11	8	1х1000	
5.	РУ – 1	Цех– 13	Цех– 13		Потребители выше 1000В

Компенсация может осуществлена на стороне ВН 10 кВ или НН 0,4 кВ соответственно БК 10 кВ или БК 0,4 кВ.

Расчёт реактивной мощности на стороне ВН 10 кВ:

$$Q_C = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 5645,86 = 1355,01 \text{ кВАр}$$

Количество реактивной мощности ВВ АД:

$$Q_{АД} = \frac{P_{p\Sigma} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\eta} = \frac{1600 \cdot 0,75}{0,95} = 1263 \text{ кВАр}$$

Так как  $Q_C = 1355,01 \text{ кВАр} > Q_{АД} = 1263 \text{ кВАр}$ , то необходимость установки КУ на стороне ВН 10 кВ отсутствует.

К шинам промышленного предприятия присоединяется 7 трансформаторов

Количество реактивной мощности, которую могут передать трансформаторы на 0,4кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot \beta_T \cdot S_H)^2 - \sum (P_p + P_{p.o})^2} = \sqrt{(0,7 \cdot (2 \cdot 2500 + 4 \cdot 1600 + 1000))^2 - 4390,93^2} = 7487,46 \text{ МВАр}$$

здесь  $\beta_T=0,7$  – коэффициент загрузки трансформаторов

Реактивная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_A = Q_C - Q_{АД} = 1355,01 - 1263 = 92,01 \text{ кВАр}$$

Так как:  $Q_A = 92,01 \text{ кВАр} < Q_1 = 7487,46 \text{ кВАр}$  , то

$$Q_{BK \text{ р.нн}} = Q_{\text{р.нн}} - Q_A = 7487,46 - 92,01 = 7395,45 \text{ кВАр}$$

Из таблицы 5.9 (1) выбираем УКМ 58-0,4-1200-100 в количестве 7 штук комплектных конденсаторных установок общей мощностью 12400 кВАр.

## 6. Схема внешнего электроснабжения

Мощность трансформаторов ГПП определяется по выражению:

$$S_{н.тр}^{ГПП} = \frac{S_p^{ГПП}}{2\beta_T} = \frac{13900}{2 \cdot 0,5} = 13900 \text{ кВА (МВА)},$$

где  $S_{п.гпп}$  – полная расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП;

$\beta_m$  – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП (принимаем 0,5 согласно [3,стр.41]);

2 – число трансформаторов на ГПП.

Полученное значение  $S_{н.тр}$  округляем до ближайшего стандартного значения и в соответствии со справочной литературой [5, стр.613] принимаем в качестве трансформаторов ГПП два двухобмоточных трансформатора типа ТМН – 16000/35.

Питающие линии выполняются проводом АС. Выбор сечения провода производится по нагреву расчётным током и экономической плотности тока:

$$I_{р.л} = \frac{S_p^{ГПП}}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{32000}{2\sqrt{3} \cdot 110} = 83.97 \text{ (А)};$$

В аварийном режиме  $I_{р.мах} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 83.97 = 167.94 \text{ (А)}.$

Так как основные узлы предприятия работают в две-три смены, то в соответствии с [1, стр.80]  $T_m > 5000$  (ч). Соответственно экономическая плотность тока будет равна  $j_{эк} = 1 \text{ А/мм}^2$ , согласно [2,стр.78].

Рассчитаем экономически целесообразное сечение:  $S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}} = \frac{83,97}{1} = 83,97 \text{ мм}^2$

Полученное сечение округляем до стандартного и в соответствии с [5, стр.] принимаем в качестве ВЛЭП провода марки АС – 95. Для данного провода сделаем необходимые проверки:

1. по нагреву  $1,3 \cdot I_{\text{дон}} > I_{p.\text{max}}$ ;

$$1,3 \cdot 330 > 167,94 \text{ (A)};$$

$$422 > 167,94 \text{ (A)}.$$

2. по механической прочности  $F_{\text{эк.влэп}} > F_{\text{min.мех}}$ ;  $95 > 47 \text{ (мм}^2\text{)}$ .

3. по допустимой потере напряжения  $l_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}\%} \cdot K_3 \geq l$ ;

где  $l_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной нагрузке на 1% потери напряжения, принимаем по справочной литературе [3, стр.90], км;

$\Delta U_{\text{дон}\%} = 5\%$  – допустимая потеря напряжения;

$K_3 = \frac{I_{\text{дон}}}{I_p}$  – коэффициент загрузки линии;

$l_{\text{дон}}$  – допустимая длина линии, км;

$l$  – фактическая длина линии, км;

$$l_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}\%} \cdot \frac{I_{\text{дон}}}{I_p} \geq l$$

$$1,48 \cdot 10 \cdot \frac{330}{83,97} = 58,16 > 10 \text{ (км)}.$$

Проверку по условию коронирования проводов делать нет необходимости, так как напряжение питающей ВЛЭП=110 (кВ)

Принятая схема внешнего электроснабжения отвечает основным требованиям, предъявляемым к схемам внешнего электроснабжения:

- необходимая надёжность;
- простота и удобство в эксплуатации;
- при аварийных ситуациях (выход из строя линии, трансформатора) оставшийся в работе элемент принимает на себя полностью или частично



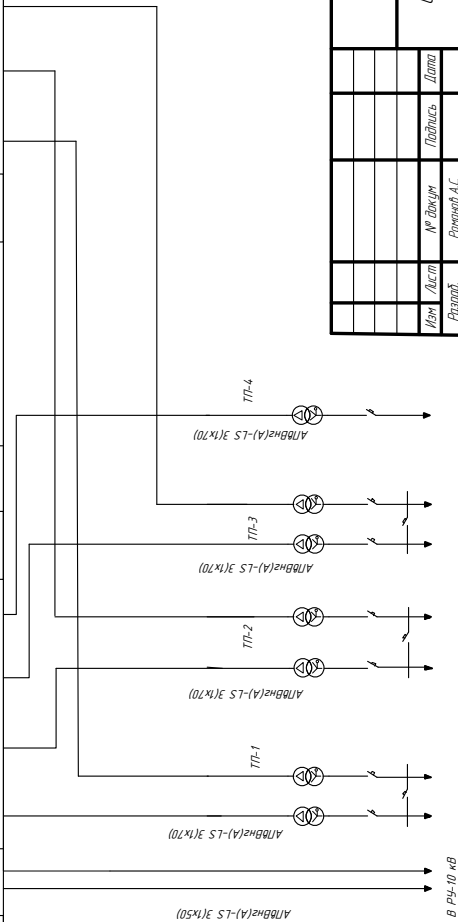
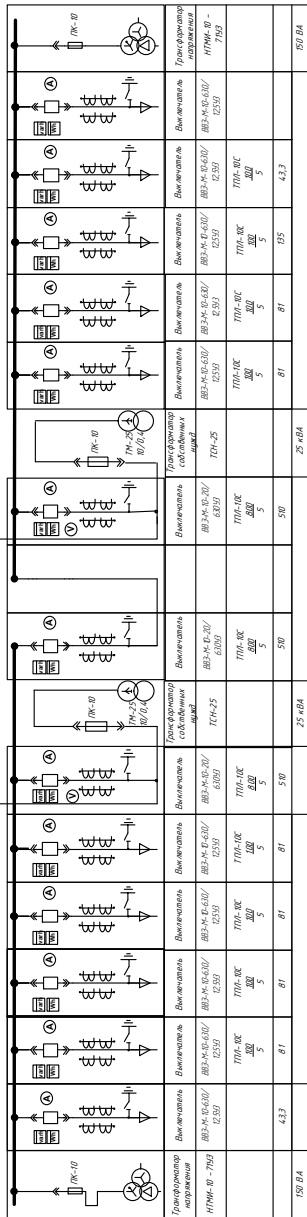
нагрузку с учётом дополнительной перегрузки в послеаварийном режиме работы (трансформатор допускает перегрузку 40%, линии 30%);

- схема учитывает перспективу развития предприятия;
- схема обеспечивает возможность проведения плановых и внеплановых ремонтных работ.

Электроснабжение химического комбината осуществляется от подстанции энергосистемы по двум ВЛЭП – 110 (кВ), выполненных проводом АС – 95 на железобетонных опорах. ГПП размещается на территории завода в соответствии с расчётным центром электрических нагрузок с некоторым смещением в сторону источника питания, то есть расположена в западной стороне завода. На ГПП установлены два двухобмоточных трансформатора ТМН – 16000/110. Для принятого напряжения 110 (кВ) принята упрощенная схема отделитель и короткозамыкатель. На стороне 35 (кВ) одинарная система шин, секционированная вакуумным выключателем с устройством АВР.



ВК-35Ф	Трансформатор тока
УМ-80	10-35Ф
Резисторы	С'емчик резистивной
РМБЗ-35-0301	энергии
Трансформатор напряжения	С'емчик активной
НМН-35 УХУ1	энергии
Выключатель ВВЗ-35-50/100З9	Выключатель
	С'емчик резистивной
	энергии
	С'емчик активной
	энергии
ОПН-35 УХУ1	Трансформатор тока
	10-35Ф
	С'емчик резистивной
	энергии
	С'емчик активной
	энергии
	Трансформатор тока
	10П-0С



Капельные линии марки АТВВыз(А)-LS	Сильные Трансформаторы Цеховых подстанций	Автоматические выключатели марки ВА
--	--	---

Изм.	Лист	Подпись	Дата	<p>Однотипная схема внешнего и внутризаводского электрооборудования</p>				Лист	Масштаб
Разработ	А.С.	Романов	А.С.					9	
Провер	Е.В.	Григорьев	Е.В.						
Т. Констр.		Г. Констр.						Листов 224	Листов 7
Реценз		Реценз							
Исполн		Исполн		<p>Электрооборудование химического завода</p>				<p>Группа 3-5А303</p>	
Исполн		Исполн							

## 7. Схема внутризаводской сети 10 кВ

Распределительная сеть выше 1000 В по территории завода выполняется кабельными линиями, проложенными в траншеях.

Сечение кабельных линий выбирается по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение определяется из выражения:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}},$$

где  $I_p$  – расчётный ток установки, А;

$j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>.

Полученное значение округляется до ближайшего стандартного значения. Расчётный ток должен соответствовать условиям нормальной работы, при его определении не следует учитывать увеличение тока при аварийных ситуациях. Расчётным током линии для питания цеховых трансформаторов, преобразователей, высоковольтных электродвигателей и трансформаторов электропечей является их номинальный ток, независимо от фактической нагрузки.

### **Выбора кабеля для линии Л1 (ГПП – РУ-1):**

Определяем  $I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{S_p^B}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{1600}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 46,20 \text{ (А)}$ .

Определяем  $I_n / a_b = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 46,20 = 92,4 \text{ (А)}$ .

Используя исходные данные и справочную литературу [7, стр.437], найдем величину  $j_{\text{эк}} = 1 \text{ (А/мм}^2\text{)}$ .

Рассчитаем экономически целесообразное сечение  $F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{46,20}{1} = 46,20 \text{ (мм}^2\text{)}$ .

Округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 50 (мм<sup>2</sup>).

Используя справочную литературу [7, стр.438] выбираем кабель марки АПвПу 3х(1х50), у которого  $I_{\text{дон.табл}} = 175 \text{ (А)}$ ; учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{np}$  [7, стр.440]

$$I_{доп} = k_{np} \cdot I_{доп.табл} = 0,90 \cdot 175 = 157,5 \text{ (А)}.$$

Сделаем необходимые проверки  $I_p \leq I_{доп}$   $46,20 < 157,5 \text{ (А)}$ ;

$$I_{n / ав} \leq 1,3 I_{доп} \quad 92,4 < 204,75 \text{ (А)}.$$

Проверки показали, что кабель выбран верно.

### **Выбора кабеля для линии Л2 (ГПП – ТП-1):**

$$\text{Определяем } I_p = \frac{2Sp}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{2Sp^B}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{2 \cdot 2500}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 144,34 \text{ (А)}.$$

$$\text{Определяем } I_{n / ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 144,34 = 288,67 \text{ (А)}.$$

Используя исходные данные и справочную литературу [7, стр.437], найдем величину  $j_{эк} = 1,6 \text{ (А/мм}^2\text{)}$ .

$$\text{Рассчитаем экономически целесообразное сечение } F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{144,34}{1,6} = 90,22 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 95 (мм<sup>2</sup>).

Используя справочную литературу [7, стр.438] выбираем кабель марки АпвПу 3х(1х95), у которого  $I_{доп.табл} = 265 \text{ (А)}$ ; учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{np}$  [7, стр.440]

$$I_{доп} = k_{np} \cdot I_{доп.табл} = 0,9 \cdot 265 = 238,5 \text{ (А)}.$$

Сделаем необходимые проверки  $I_p \leq I_{доп}$   $90,22 < 238,5 \text{ (А)}$ ;

$$I_{n / ав} \leq 1,3 I_{доп} \quad 288,87 < 310,05 \text{ (А)}.$$

Проверки показали, что кабель выбран верно.

### **Выбора кабеля для линии Л3 (ГПП – ТП-2):**

$$\text{Определяем } I_p = \frac{2Sp}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{2Sp^B}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{2 \cdot 1600}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 92,4 \text{ (А)}.$$

$$\text{Определяем } I_{n / ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 92,4 = 184,8 \text{ (А)}.$$

Используя исходные данные и справочную литературу [7, стр.437], найдем величину  $j_{эк} = 1,6 \text{ (А/мм}^2\text{)}$ .

Рассчитаем экономически целесообразное сечение  $F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{92,4}{1,6} = 57,75 \text{ (мм}^2\text{)}$ .

Округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 70 (мм<sup>2</sup>).

Используя справочную литературу [7, стр.438] выбираем кабель марки АПвПу 3х(1х70), у которого  $I_{\text{доп.табл}} = 215 \text{ (А)}$ ; учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{\text{нр}}$  [7, стр.440]

$$I_{\text{доп}} = k_{\text{нр}} \cdot I_{\text{доп.табл}} = 0,95 \cdot 215 = 204,25 \text{ (А)}.$$

Сделаем необходимые проверки  $I_p \leq I_{\text{доп}}$   $92,4 < 204,25 \text{ (А)}$ ;

$$I_{\text{н/ав}} \leq 1,3 I_{\text{доп}} \quad 184,76 < 265,525 \text{ (А)}.$$

Проверки показали, что кабель выбран верно.

#### **Выбора кабеля для линии Л4 (ГПП – ТП-3):**

$$\text{Определяем } I_p = \frac{2Sp}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{2Sp^B}{2\sqrt{3}U_n} = \frac{2 \cdot 1600}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 92,4 \text{ (А)}.$$

$$\text{Определяем } I_{\text{н/ав}} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 92,4 = 184,76 \text{ (А)}.$$

Используя исходные данные и справочную литературу [7, стр.437], найдем величину  $j_{\text{эк}} = 1,6 \text{ (А/мм}^2\text{)}$ .

$$\text{Рассчитаем экономически целесообразное сечение } F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{92,4}{1,6} = 57,75 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 70 (мм<sup>2</sup>).

Используя справочную литературу [7, стр.438] выбираем кабель марки АПвПу 3х(1х70), у которого  $I_{\text{доп.табл}} = 215 \text{ (А)}$ ; учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{\text{нр}}$  [7, стр.440]

$$I_{\text{доп}} = k_{\text{нр}} \cdot I_{\text{доп.табл}} = 0,86 \cdot 215 = 184,9 \text{ (А)}.$$

Сделаем необходимые проверки  $I_p \leq I_{\text{доп}}$   $57,75 < 184,9 \text{ (А)}$ ;

$$I_{\text{н/ав}} \leq 1,3 I_{\text{доп}} \quad 184,76 < 240,37 \text{ (А)}.$$

Проверки показали, что кабель выбран верно.

### **Выбора кабеля для линии Л5 (ГПП – ТП-4):**

Определяем  $I_p = \frac{Sp}{\sqrt{3}U_n} = \frac{Sp^B}{\sqrt{3}U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ (А)}$ .

Используя исходные данные и справочную литературу [7, стр.437], найдем величину  $j_{эк} = 1,6 \text{ (А/мм}^2\text{)}$ .

Рассчитаем экономически целесообразное сечение  $F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{57,8}{1,6} = 36,125 \text{ (мм}^2\text{)}$ .

Округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 50 (мм<sup>2</sup>).

Используя справочную литературу [7, стр.438] выбираем кабель марки АПвПу 3х(1х50), у которого  $I_{доп.табл} = 175 \text{ (А)}$ ; учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{нр}$  [7, стр.440]

$$I_{доп} = k_{нр} \cdot I_{доп.табл} = 0,95 \cdot 175 = 166,25 \text{ (А)}.$$

Сделаем необходимые проверки  $I_p \leq I_{доп}$   $36,125 < 166,25 \text{ (А)}$ ;

Проверки показали, что кабель выбран верно.

Таблица 7.1

Выбор сечений кабельных линий распределительной  
сети 10 кВ

№	Назначение линии	Количество линий	Расчётная нагрузка на один кабель		Длина линии, км	Способ прокладки	Поправочный коэффициент про- кладки кабеля	Марка и сечение кабеля, выбран- ного по условию допусти- мого нагрева S, мм²	Допустимая нагрузка на один кабель	
			в нормальном режиме $I_n$ , А	в после аварийном режиме $I_{aс}$ , А					в нормальном режиме $I_{доп}$ , А	в аварийном режиме $1,3I_{доп}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	ГПП – РУ-1	2	46,2	92,4	0,420	По воздуху	0.90	Ап- вПу(1х50)	157.5	204,75
2.	ГПП – ТП-1	2	144,34	288,67	0,140	По воздуху	0.90	Ап- вПу(1х95)	238,5	310,05
3.	ГПП – ТП-2	1	92,4	184,8	0,245	По воздуху	0.95	Ап- вПу(1х70)	204.25	265,53
4.	ГПП – ТП-3	4	92,4	184,8	0,410	По воздуху	0.86	Ап- вПу(1х70)	184,75	240,37
5.	ГПП – ТП-4	1	57,8	–	0,330	По воздуху	0.95	Ап- вПу(1х50)	166,25	—



[illegible]

## 8. Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

Все электрические аппараты и токоведущие части электрических установок должны быть выбраны таким образом, чтобы исключалось их разрушение при прохождении по ним наибольших возможных токов КЗ, в связи с чем возникает необходимость расчёта этих величин.

Расчёт токов КЗ ведётся в относительных единицах. Для этого все расчётные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности.

Величина базисного напряжения  $U_б$  превышает номинальное на 5%. За базисную мощность  $S_б$  принимают любое число кратное 10.

Для расчёта токов КЗ составляется расчётная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитывают все источники питания (п/ст энергосистемы, генераторы ТЭЦ), трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

По расчётной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчётов токов КЗ.

Базисные сопротивления в относительных единицах определяются по следующим формулам:

1. сопротивление воздушных и кабельных линий

$$r_{б*} = r_o \cdot l \frac{S_б}{U_б^2};$$

$$x_{б*} = x_o \cdot l \frac{S_б}{U_б^2},$$

где  $r_o$  и  $x_o$  – соответственно активное и индуктивное сопротивление линии на один км длины, Ом/км;

$l$  – длина линии, км.

2. индуктивное сопротивление трансформатора

$$x_{б*} = \frac{U_k}{100} \frac{S_б}{S_{н.тр}},$$

где  $U_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА.

Для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий обычно учитываются только индуктивные сопротивления. При значительной протяжённости сети (кабельной и воздушной) учитываются также их активные сопротивления. Считается целесообразно учитывать активное сопротивление, если соотношение между суммарными активными  $r_{\Sigma}$  и реактивными  $x_{\Sigma}$  сопротивлениями до места КЗ следующие:  $r_{\Sigma} > x_{\Sigma} / 3$ .

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_k = \frac{I_{\delta}}{Z_{\delta * \Sigma}},$$

где  $I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}$  – базисный ток;

$Z_{\delta * \Sigma} = \sqrt{r_{\delta * \Sigma}^2 + x_{\delta * \Sigma}^2}$  – полное сопротивление от источника питания до

точки КЗ, выраженное в относительных единицах и приведенное к базисной мощности (если активное сопротивление не учитывается, то  $Z_{\delta * \Sigma} = x_{\delta * \Sigma}$ ).

Ударный ток КЗ  $i_y = I_k \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\delta}$ ,

где  $K_{y\delta}$  – ударный коэффициент.

По величине  $I_k$  проверяют электрические аппараты и токоведущие части на термическую устойчивость. По величине  $i_y$  проверяются аппараты на динамическую устойчивость.

Для расчёта токов КЗ принимаем базисные величины:

Согласно [3, стр.43] используя стандартный ряд базисных напряжений, принимаем  $U_{\delta 1} = 37$  (кВ),  $U_{\delta 2} = 6,3$  (кВ).

За базисную мощность, согласно [3, стр.43] принимаем  $S_{\delta} = 100$  (МВА).

Принимаем, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы)  $S_c = \infty$  и соответственно индуктивное сопротивление  $x_c = 0$ .

Расчёт токов КЗ будем проводить для участка распределительной сети 6 кВ ГПП – ТП-7 (рис.3). Для данного участка составляем расчётную схему и схему замещения, представленные ниже.

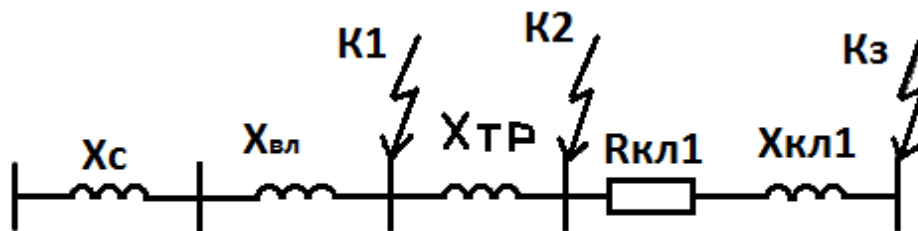


Рисунок 8.1 - Расчётная схема (а) и схема замещения (б) для участка распределительной сети 10 кВ ГПП – ТП-4

### **Расчёт токов для точки K1:**

Для ВЛЭП принимаем удельное индуктивное сопротивление  $x_o = 0,4$  (Ом/км), согласно [5, стр.130].

$$x_{l1}^* = x_o \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 1}^2} = 0,4 \cdot 10 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,29 \text{ (о.е.)};$$

$$I_{\delta 1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} U_{\delta 1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ (кА)};$$

$$x^*_{\Sigma K1} = x_{l1}^* = 0,29 \text{ (о.е.)};$$

$$I_{K1} = \frac{I_{\delta}}{x^*_{\Sigma K1}} = \frac{1,56}{0,29} = 5,37 \text{ (кА)};$$

Согласно [3, стр.45] принимаем  $K_{y\partial 1} = 1,8$ ;

$$i_{y1} = I_{K1} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 1} = 5,37 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 13,69 \text{ (кА)};$$

$$S_{K1} = \frac{S_{\delta}}{x_{\Sigma K1}} = \frac{100}{0,29} = 344,83 \text{ (МВА)}.$$

### **Расчёт токов для точки К2:**

Напряжение короткого замыкания для выбранного трансформатора принимаем равным  $U_k = 7,5\%$ , согласно [5, стр.613].

$$x_{2*} = x_{mp*} = \frac{U_k\%}{100} \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{н.мп}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,19 \text{ (о.е)};$$

$$I_{\bar{\sigma}2} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}U_{\bar{\sigma}2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,2 \text{ (кА)};$$

$$x_{*\Sigma K2} = x_{1*} + x_{2*} = 0,29 + 1,19 = 1,48 \text{ (о.е)};$$

$$I_{K2} = \frac{I_{\bar{\sigma}2}}{x_{*\Sigma K1}} = \frac{9,2}{1,48} = 6,22 \text{ (кА)};$$

Согласно [3, стр.45] принимаем  $K_{y\varnothing2} = 1,8$ ;

$$i_{y2} = I_{K2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\varnothing2} = 6,22 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 15,8 \text{ (кА)};$$

$$S_{K2} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{x_{\Sigma K2}} = \frac{100}{1,48} = 67,57 \text{ (МВА)}.$$

### **Расчёт токов для точки К3:**

Для кабельных линий принимаем удельное активное сопротивление (Ом/км), согласно [3 стр.90].

$$x_{3*} = x_o \cdot l \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,177 \cdot 0,330 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,147 \text{ (о.е)};$$

$$r_{3*} = r_o \cdot l \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,44 \cdot 0,330 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,36 \text{ (о.е)};$$

$$x_{*\Sigma K3} = x_{*\Sigma K2} + x_{3*} = 1,48 + 0,147 = 1,627 \text{ (о.е)};$$

Принимая во внимание соотношение  $r_{\Sigma} < x_{\Sigma} / 3$  согласно [3, стр.45] активное сопротивление не учитываем.

$$I_{K3} = \frac{I_{\bar{\sigma}2}}{x_{*\Sigma K3}} = \frac{9,2}{1,627} = 5,65 \text{ (кА)};$$

$$i_{y3} = I_{K3} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\varnothing3} = 5,65 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 14,39 \text{ (кА)};$$

$$S_{K3} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{x_{\Sigma K3}} = \frac{100}{1,627} = 61,46.$$

Используя полученные значения токов короткого замыкания проверим принятые ранее сечение кабелей на термическую стойкость при КЗ в начале линии. Термически стойкое сечение равно:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T},$$

где  $B_k = I_k^2(t_{\text{отк}} + T_a)$  – тепловой импульс тока КЗ,  $\text{А}^2\text{с}$ ;

$T_a$  – постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ, принимаем равной 0,01 с, согласно [5, стр.150];

$t_{\text{отк}} = t_z + t_{\text{в}}$  – время отключения КЗ, с;

$t_z$  – время действия основной защиты, принимаем равной 1,2 с, согласно [5, стр.209];

$t_{\text{в}}$  – полное время отключения выключателя; учитывая, что в ЗРУ ГПП установлены выключатели типа ВВЭ-М-10-630/12,5УЗ, у которого согласно [5, стр.630]  $t_{\text{в}} = 0,03$  с;

$C_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника; принимаем, согласно [8, стр.139] равным 90 ( $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$ ).

$(t_{\text{отк}} + T_a) = 1,2 + 0,03 + 0,01 = 1,24$  (с);

#### **Линия ГПП – ТП-4**

$$F_{\min} = \frac{I_{\text{кз}} \sqrt{t_{\text{отк}} + T_a}}{C_T} = \frac{5,65 \cdot 10^3 \sqrt{1,24}}{90} = 69,9 (\text{мм}^2);$$

Полученное значение минимального сечения показывает, что выбранный кабель, для данного участка распределительной сети 10 (кВ) АПВПу(1х70) проходит по термической стойкости к току КЗ:  $F \geq F_{\min}$ .

Таблица 8.1- Расчет токов КЗ в сети 35-10 кВ

Расчетные точки		К1	К2	КЗ
Токи КЗ	$I_{\infty}$ , кА	5,37	6,22	5,65
	$i_y$ , кА	13,69	15,8	14,39
	$S_k$ , МВА	344,83	67,57	61,46

## 9 Выбор коммутационных аппаратов

Выбор выключателей 10кВ произведем по следующим параметрам:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_p \leq I_n$ ;
3. По отключающей способности:  $I_0 \leq I_{н.откл}$ ;
4. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
5. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ .

Выбор выключателя 10 кВ, установленного на низкой стороне силового трансформатора ГПП, сведем в таблицу 9.1

Таблица 9.1 – Выбор выключателя на низкой стороне силового трансформатора ГПП

Расчетные данные	Каталожные данные Выключатель ВВЭ-М-10-20/630У3
Вводные и секционный выключатели	
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 509,6 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$I_0 = 6,22 \text{ кА}$	$I_{н.откл} = 20 \text{ кА}$
$i_y = 15,8 \text{ кА}$	$i_y = 50 \text{ кА}$
$B_k = 42,02 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Выключатели отходящих линий на цеховые ТП и РУ-10 кВ	
Расчетные данные	Каталожные данные Выключатель ВВЭ-М-10-630/12,5У3
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 80,92 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$I_0 = 5,65 \text{ кА}$	$I_{н.откл} = 12,5 \text{ кА}$
$i_y = 14,39 \text{ кА}$	$i_y = 32 \text{ кА}$
$B_k = 40,88 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 468 \text{ кА}^2\text{с}$

Выбранный нами выключатели удовлетворяет всем условиям.

Выбор разъединителя, 35 кВ осуществим по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_p \leq I_n$  (кроме короткозамыкателя);
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
4. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ .

Выбор разъединителя и отделителя сведем в таблицу 4.2.

Выбор выключателя и разъединителя 35 кВ.

Выбираем выключатель ВБУ-35-50/1000У3

Выбираем разъединитель РНД3.2-35/630Т1

Таблица 9.2 – Выбор выключателя и разъединителя 35 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	
	Выключатель ВБУ-35-50/1000У3	Разъединитель РНД3.2-35/630Т1
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 145 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_0 = 5,37 \text{ кА}$	$I_{н.откл} = 31,5 \text{ кА}$	
$i_y = 13,69 \text{ кА}$	$i_{дин} = 50 \text{ кА}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$
$B_k = 13,69^2 \cdot 1,33 = 249,3 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 50^2 \cdot 4 = 10000 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 31,5^2 \cdot 4 = 3969 \text{ кА}^2\text{с}$

Выбранные нами разъединитель и выключатель удовлетворяют всем условиям.

Принимаем к установке ограничитель перенапряжения нелинейный классом напряжения 35 кВ ОПН-35 УХЛ1.

Выбор трансформаторов тока

Осуществляем выбор по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_{ном} \leq I_{ном}; I_{max} \leq I_{ном}$ ;
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
4. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ ;
5. По вторичной нагрузке:  $Z_2 \leq Z_{2ном}; r_2 = Z_2 \leq Z_{2ном}$ ,



где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$Z_{2ном}$  – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Выбор трансформатора тока 35 кВ.

Выбираем ТОГ-35

Выбор трансформатора тока сведем в таблицу 4.4.

Таблица 9.3 – Выбор трансформатора тока 35 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные ТОГ-35кВ
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 145 \text{ А}$	$I_{ном} = 150 \text{ А}$
$i_y = 13,69 \text{ кА}$	$i_{дин} = 40 \text{ кА}$
$B_k = 249,3 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 12^2 \cdot 3 = 432 \text{ кА}^2\text{с}$
$r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Проверим выбранный трансформатор тока по вторичной нагрузке.

Таблица 9.4 – Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Счетчик активной и реактивной энергии	Меркурий 230ART	5	-	5
Амперметр регистрирующий	Н-344	-	10	-
Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
Итого		5,5	10	5,5

Наиболее загружен трансформатор тока фазы В.

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{10}{25} = 0,4 \text{ Ом}.$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{пр} = z_{2ном} - r_{приб} - r_k = 1,2 - 0,4 - 0,1 = 0,7 \text{ Ом},$$

где  $r_k = 0,1 \text{ Ом}$  – принимается при числе приборов, большем трех  
(сопротивление контактов).

Зная  $r_{пр}$ , можно определить сечение соединительных проводов:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{r_{пр}},$$

где  $\rho = 0,0283$  – удельное сопротивление провода, Ом/м.

$$l_{расч} = 2 \cdot l = 2 \cdot 75 = 150 \text{ м.}$$

$$q = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{r_{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 150}{0,7} = 6 \text{ мм}^2.$$

Принимаем контрольный кабель АКРВГ с жилами сечением  $6 \text{ мм}^2$ .

Выбранный нами трансформатор тока удовлетворяет всем условиям

Выбор трансформатора тока 10 кВ.

Выбираем трансформатор тока. ТПЛ-10С

Выбор трансформатора тока 10 кВ сведем в таблицу 4.6.

Таблица 9.5 – Выбор трансформатора тока 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные ТПЛ-10С
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 132 \text{ А}$	$I_{ном} = 1500 \text{ А}$
$i_y = 13,69 \text{ кА}$	$i_{дин} = 31,5 \text{ кА}$
$B_k = 249,3 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 3675 \text{ кА}^2\text{с}$
$r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Выбранный нами трансформатор тока удовлетворяет всем условиям.

### Выбор трансформаторов напряжения

Осуществляем выбор трансформаторов напряжения по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По конструкции и схеме соединения обмоток;
3. По классу точности;
4. По вторичной нагрузке:  $S_{2\Sigma} \leq S_{ном}$ ;

где  $S_{ном}$  – номинальная мощность в выбранном классе точности;

$S_{2\Sigma}$  - нагрузка всех измерительных приборов.

Выбираем трансформатор напряжения НТМИ-10-71У3:

$U_{ном}=10$  кВ;

класс точности: 0,5;

схема соединения обмоток:  $\text{Y} / \text{Y} / \Delta - 0$

Проверим по вторичной нагрузке:

$S_{ном}$  – номинальная мощность в выбранном классе точности, для трансформаторов, соединенных по схеме открытого треугольника следует взять удвоенную мощность одного трансформатора;

$S_{2\Sigma}$  - нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения, ВА.

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}.$$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения первой секции:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} = \sqrt{96^2 + 233^2} = 252 \text{ ВА}.$$

Трансформаторы, соединенные по схеме открытого треугольника имеют мощность:  $2 \cdot 75 = 150$  ВА.

$S_{ном} < S_{2\Sigma}$ , поэтому предусматриваем дополнительно установку двух трансформаторов НТМи-10-71У3, общей мощностью  $2 \cdot 75 = 150$  ВА.

Полная мощность всех установленных на первой секции трансформаторов напряжения:  $150 + 150 = 300$  ВА.

Таким образом, трансформаторы напряжения будут работать в выбранном классе точности 0,5.

Выбор трансформаторов напряжения второй секции шин производится аналогично.

## 10. Электроснабжение кузнечного цеха

Электроснабжение цеха выполняется в следующей последовательности.

1. Приёмники цеха распределяются по пунктам питания (силовым распределительным шкафам или шинопроводам), выбирается схема и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания). Принятая схема (радиальная, магистральная, смешанная) питающей сети должна обеспечивать требуемую надёжность питания приёмников и требуемую по технологическим условиям гибкость и универсальность сети в отношении присоединения новых приёмников и перемещения приёмников по площади цеха. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки. Исполнение силовых распределительных пунктов и шинопроводов должно также соответствовать характеру окружающей среды.

2. Определяются расчётные электрические нагрузки по пунктам питания цеха.

3. Производится выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения.

4. Производится выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты и управления цеха.

5. Для участка цеховой сети (от вводного автомата на подстанции до самого мощного или самого удалённого электроприёмника) строится карта селективности действия аппаратов защиты.

6. Производится расчёт питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построения эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее удалённого от цеховой ТП или наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной и минимальной нагрузок, а в случае двухтрансформаторной подстанции и послеаварийного режима.

7. Производится расчёт токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха. Полученные данные наносятся на карту селективности действия аппаратов защиты.

### **10.1 Распределение приёмников по пунктам питания**

Распределение электроприёмников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к соответствующему распределительному шкафу ШР. Так как ШР бывают различных типов и имеют определённое число присоединений, а именно 5 или 8, то для каждого электроприёмника необходимо выбрать предохранитель, а затем, зная тип предохранителя, подключить его к соответствующему ШР. Кроме того, для каждого ШР необходимо выбрать защитный аппарат – автоматический выключатель.

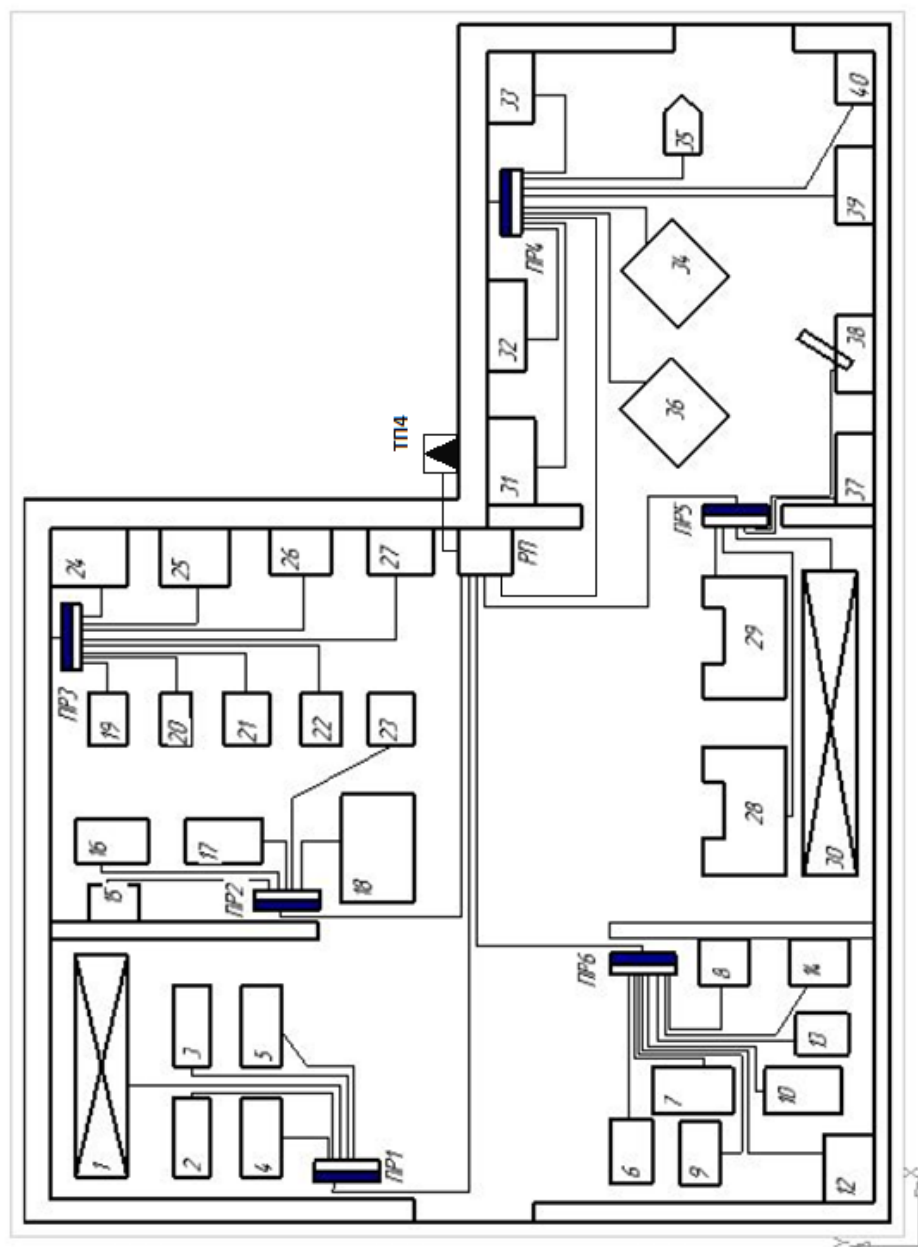


Рисунок 10.1-План расположения силовой сети кузнечного цеха.

№ п/п	Наименование узлов пи- тания и групп электроприемников	Количество ЭП n	Установленная мощность, приве- денная к ПВ=100%		$m=P_{н, max}/P_{н, min}$	Коэффициент использования $K_{и}$	$\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$	Средняя нагрузка за мак- симально загру- женную смену		Эффективное число ЭП $n_э$	Коэффициент максимума $K_m$	Максимальная нагрузка			Расчетные токи $I_M/I_{л}$
			одного ЭП(наиме- ньшего, наиболь- шего) $P_{н}$ , кВт	об- щая $P_{н}$ , кВт				$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н}$ , кВт	$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \alpha$ , кВАр			$P_M = K_M \cdot P_{см}$ , кВт	$Q_M = Q_{см}$ при $n_э > 10$ , $Q_M = 1,1 Q_{см}$ при $n_э \leq 10$ , кВАр	$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>Силовой распределительный шкаф ПР-1</b>														
	<b>Приемники группы А</b>														
1	Кран – балка ПВ=40%	1	12,6	12,6		0,1	0.5/1.73	1,260	2,182						
2-5	Фрезерный станок	4	7	28		0,25	0.4/2,29	7,000	16,039						
	<b>Итого по группе А</b>	5	7-12,6	40,6		0,2	—	4,68	6,54	5	2,42	19,99	20,04	28,31	43,01
	<b>И того по ПР-1</b>	5	8-12,6	40,6		—	—	8,26	18,22	—	—	19,99	20,04	28,31	43,01
	<b>Силовой распределительный шкаф ПР-2</b>														
	<b>Приемники группы А</b>														
18	Пресс	1	40	40		0,25	0.65/1.17	10	11,69						
23	Токарный станок	1	6	6		0,14	0.6/1.33	0,84	1,12						
	<b>Итого по группе А</b>	2	6-40	46		0,24	—	10,84	12,81	—	1	10,84	14,09	17,78	27,01
	<b>Приемники группы Б</b>														
15	Сушильный шкаф	1	8	8		0.75	0.95/0.33	6	1,972						
16,17	Закалочная печь	2	40	80		0.8	0.95/0.33	64	21,04						
	<b>Итого по группе Б</b>	3	8-40	88		0,8	—	70	23,01	—	1	70	25,31	74,43	113,0 9
	<b>И того по ПР-2</b>	5		134		—	—	80,84	35,82	—	—	80,84	39,4	92,21	140,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>Силовой распределительный шкаф ПР-3</b>														
	<b>Приемники группы А</b>														
19-22, 25	Токарный станок	5	6	30		0,25	0.4/2,29	2,000	4,583						
26	Шлифовальный станок	1	8	8		0,25	0,4/2,29	7,500	17,185						
24	Сварочный трансформатор ПВ=25%	1	20	20		0,40	0.4/2.29	8,000	18,330						
	<b>Итого по группе А</b>	7	6-20	58		0,3	—	17,50	40,10	5	2	35,00	44,11	56,31	85,55
	<b>Приемники группы Б</b>														
27	Сушильный шкаф	1	8	8		0,75	0.95/0.33	6	1,97						
	<b>Итого по группе Б</b>	1	8	8		0,75	—	6	1,97	—	1	6	2,17	6,38	9,69
	<b>Итого по ПР-3</b>	8		66		—	—	23,5	42,07	—	—	41	46,28	62,29	94,64
	<b>Силовой распределительный шкаф ПР-4</b>														
	<b>Приемники группы А</b>														
34	Токарный станок	1	6	6		0,14	0.6/1.33	0,840	1,120						
35	Обдирочный станок	1	21	21		0,14	0,6/1,33	2,94	3,92						
32,36	Электромотолот	2	25	25		0,3	0.6/1.33	15	20,00						
39	Нагревательная плита	1	10	10		0,55	0.95/0.33	5,5	1,81						
	<b>Итого по группе А</b>	5	6-25	87		0,28	—	24,28	26,85	4	2,3	55,84	47,89	73,56	111,7
	<b>Приемники группы Б</b>														
31	Вентилятор	1	7	7		0,75	0.8/0.75	5,250	3,938						
33,40	Вентилятор горна	2	15	30		0,75	0,8/0,75	22,50	16,875						
	<b>Итого по группе Б</b>	3	7-15	37		0,75	0.8/0.75	27,75	20,81	—	1	27,75	22,89	35,97	54,66



	<b>И того по ПР-4</b>	8		124		—	—	52,03	47,66	—	—	77,59	65,83	101,76	154,6
--	-----------------------	---	--	-----	--	---	---	-------	-------	---	---	-------	-------	--------	-------

Продолжение таблицы 10.1.

Окончание таблицы 10.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Силовой распределительный шкаф ПР-5</b>															
	<b>Приемники группы А</b>														
37	Сверлильный станок	1	4	4		0,14	0,6/1,33	0,56	0,747						
30	Кран – балка ПВ=40%	1	12,6	12,6		0,1	0,5/1,73	0,756	1,309						
28,29	Электрованна	2	30	60		0,55	0,95/0,33	33,00	10,847						
38	Поворотный кран	1	5	5		0,06	0,5/1,73	0,30	0,52						
	<b>И того по группе А</b>	5	4-30	81,6		0,42	—	34,62	13,42	3	1	34,62	14,76	37,63	57,18
	<b>И того по ПР-5</b>	5		81,6		—	—	34,62	13,42	—	—	34,62	14,76	37,63	57,18
<b>Силовой распределительный шкаф ПР-6</b>															
	<b>Приемники группы А</b>														
6-8, 10	Трубогибочный станок	4	14	56		0,14	0,6/1,33	7,840	10,453						
9	Шлифовальный станок	1	8	8		0,14	0,6/1,33	1,120	1,493						
12-14	Сварочный трансформатор ПВ=25%	3	20	60		0,4	0,4/2,29	24,00	54,991						
	<b>И того по группе А</b>	8	8-20	124		0,27	—	32,96	66,94	8	1,45	56,69	73,63	92,93	141,2
	<b>И того по ПР-6</b>	8		124		—	—	32,96	66,94	—	—	56,69	73,63	92,93	141,2

Таблица 10.1.1- Определение расчётных нагрузок по пунктам питания кузнечного цеха

## 10.2 Выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения, выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты и управления цеха

**Условие выбора проводников:**  $I_p = I_{\text{дл.}} \leq I_{\text{доп.}}$ ;

Пример расчёта для линии РП –ПР-1:

$$I_{\text{ном}} = I_p = I_{\text{дл.}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{28,31}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 43,01 \text{ (А)};$$

Используя справочную литературу [6, стр.67] выбираем кабель марки АПвВнг-(4×16), у которого  $I_{\text{доп.}} = 65 > 43,01 \text{ (А)}$ .

Выбранное сечение необходимо проверить по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_p \% = \Delta U_o \cdot I_p \cdot l,$$

где  $\Delta U_o$  – потеря напряжения в 3-х фазных сетях, %/А·км, принимаем по справочной

литературе [3, стр.91];

$I_p$  – расчётный ток;

$l$  – длина проводника.

$$\Delta U_p \% = 0,642 \cdot 43,01 \cdot 0,043 = 1,19 \% < 5 \% ;$$

Пример расчёта для ответвления к закалочной печи :

$$I_{\text{ном}} = I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 67,42 \text{ (А)};$$

Используя справочную литературу [6, стр.65] выбираем провод марки АП-вВнг(А)LS-(4×35), у которого  $I_{\text{доп.}} = 91,233 > 67,42 \text{ (А)}$ .

После выбора аппаратов защиты, выбранные сечения проводников должны быть проверены на согласование с этими защитными аппаратами.

### Условия выбора автоматических выключателей:

1.  $I_{н.расц} \geq I_{дл}$ ;
2.  $I_{кз} \geq 1,25 I_{кр} = 1,25(I_{пуск.наиб.} + \sum I_{ном})$  – для группы ЭД в количестве до 5 шт. (вкл).;

$I_{кз} \geq 1,25 I_{кр} = 1,25[I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб})]$  – для группы ЭД больше 5 шт.,

где  $I_{н.расц}$  – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, А;

$I_{кз}$  – номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ.

### Выбор автоматических выключателей для защиты ПР:

#### ПР1:

$$I_{дл} = 43,01(A)$$

$$I_{тик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб}) = 201,75 + (43,01 - 0,1 \cdot 40,35) = 240,73(A)$$

$$I_{н.расц} \geq 43,01(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 240,73 = 300,91(A)$$

Используя справочную литературу [3, стр.86] выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 с данными:  $I_{н.расц} = 50(A)$ ,  $I_{н.ап.} = 50(A)$ ,  $I_{кз} = 10 \cdot I_{н.расц.} = 10 \cdot 50 = 500(A)$ .

#### ПР2:

$$I_{дл} = 140,1(A)$$

$$I_{тик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб}) = 492,7 + (140,1 - 0,25 \cdot 98,54) = 608,165(A)$$

$$I_{н.расц} \geq 140,1(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 608,165 = 760,2(A)$$

Используя справочную литературу [3, стр.86] выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 с данными:  $I_{н.расц} = 160(A)$ ,  $I_{н.ап.} = 160(A)$ ,  $I_{кз} = 5 \cdot I_{н.расц.} = 5 \cdot 160 = 800(A)$ .

### ПР3:

$$I_{\partial л} = 94,64(A)$$

$$I_{тик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб.}) = 240,18 + (94,64 - 0,4 \cdot 80) = 302,82(A)$$

$$I_{н.расц} \geq 94,64(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 302,82 = 378,525(A)$$

Используя справочную литературу [3, стр.86] выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 с данными:  $I_{н.расц} = 100(A)$ ,  $I_{н.ап.} = 100(A)$ ,  $I_{кз} = 5 \cdot I_{н.расц.} = 5 \cdot 100 = 500(A)$  (А).

### ПР4:

$$I_{\partial л} = 154,61(A)$$

$$I_{тик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб.}) = 333,6 + (154,61 - 0,3 \cdot 66,72) = 468,194(A)$$

$$I_{н.расц} \geq 154,61(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 468,194 = 585,24(A)$$

Используя справочную литературу [3, стр.86] выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 с данными:  $I_{н.расц} = 160(A)$ ,  $I_{н.ап.} = 160(A)$ ,  $I_{кз} = 5 \cdot I_{н.расц.} = 5 \cdot 160 = 800(A)$  (А).

### ПР5:

$$I_{\partial л} = 57,18(A)$$

$$I_{тик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб.}) = 201,75 + (57,18 - 0,06 \cdot 40,35) = 256,509(A)$$

$$I_{н.расц} \geq 57,18(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 256,509 = 320,64(A)$$

Используя справочную литературу [3, стр.86] выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 с данными:  $I_{н.расц} = 63(A)$ ,  $I_{н.ап.} = 63(A)$ ,  $I_{кз} = 7,93 \cdot I_{н.расц.} = 7,93 \cdot 63 = 500(A)$  (А).

### ПР6:

$$I_{\partial л} = 141,19(A)$$

$$I_{тик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб.}) = 240,18 + (141,19 - 0,4 \cdot 80) = 349,37(A)$$

$$I_{н.расц} \geq 160(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 349,37 = 436,71(A)$$

Используя справочную литературу [3, стр.86] выбираем автоматический выключатель типа ВА57-35 с данными:  $I_{н.расц} = 100(A)$ ,  $I_{н.ап.} = 100(A)$ ,  
 $I_{кз} = 3,1 \cdot I_{н.расц.} = 3,1 \cdot 160 = 500(A)$ .

### Выбор вводного автоматического выключателя для КТП:

$$I_{н.расц.} \geq I_{\partial л.} = I_{ном.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1519,34(A);$$

$$I_{кз} \geq 1,25 I_{кр} = 1,25 I_{тик.n / ст.} = 1,25 \cdot [I_{пуск.наиб.} + (I_{ном.тр} - K_u \cdot I_{ном.наиб.})] = \\ = 1,25 \cdot [492 + (1519 - 0,25 \cdot 98,54)] = 2483(A);$$

Используя справочную литературу [3, стр.88] выбираем автоматический выключатель типа ВА55-43 с данными:  $I_{н.расц} = 1600(A)$ ,  $I_{н.ап.} = 1600(A)$   
 $I_{кз} = 4 \cdot I_{н.расц.} = 4 \cdot 1600 = 6400(A)$ .

### Выбор автоматического выключателя для отходящей линии КТП:

$$I_{н.расц.} \geq I_{\partial л.} = I_{ном.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{338,41}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 514,77(A);$$

$$I_{кз} \geq 1,25 I_{кр} = 1,25 I_{тик.n / ст.} = 1,25 \cdot [I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб.})] = \\ = 1,25 \cdot [492 + (514,77 - 0,25 \cdot 98,54)] = 1227,66(A);$$

Используя справочную литературу [3, стр.88] выбираем автоматический выключатель типа ВА51-39 с данными:  $I_{н.расц} = 630(A)$ ,  $I_{н.ап.} = 630(A)$   
 $I_{кз} = 3 \cdot I_{н.расц.} = 3 \cdot 630 = 1920(A)$ .

Таблица 10.2.1- Выбор сечений линий питающей сети цеха

№ п/п	Номер линии на плане цеха	Назначение участка линии питающей сети	Расчетная нагрузка $S_p$ , кВА	Расчетный ток $I_p$ , А	Длина линии $l$ , км	Способ прокладки	Коэффициент прокладки, К	Марка кабеля	Сечение, выбранное из условия допустимого нагрева $S_n$ , мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток $I_{доп}$ , А	$\cos\varphi$	Потери напряжения на 1 А·км, $\Delta U_0$ , %	Расчетные потери напряжения $\Delta U_p$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Л-0	КТП-РП	338,41	514,77	0,001	На лотках	0,9	ПвВнг(А)LS	4x300	635	0,94	0,04	0,02
2	Л-1	РП – ПР1	28,31	43,01	0,043	На лотках	0,9	АПвВнг(А)LS	4x16	65	0,7	0,642	1,19
3	Л-2	РП – ПР1	92,21	140,1	0,029	На лотках	0,9	АПвВнг(А)LS	4x70	162	0,87	0,19	0,77
4	Л-3	РП – ПР1	62,29	94,64	0,025	На лотках	0,9	АПвВнг(А)LS	4x35	105	0,65	0,28	0,66
5	Л-4	РП – ПР1	101,76	154,61	0,020	На лотках	0,9	АПвВнг(А)LS	4x70	162	0,76	0,175	0,54
6	Л-5	РП – ПР1	37,63	57,18	0,023	На лотках	0,9	АПвВнг(А)LS	4x16	65	0,9	0,817	1,07
7	Л-6	РП – ПР1	92,93	141,19	0,030	На лотках	0,9	АПвВнг(А)LS	4x70	162	0,6	0,152	0,37

Таблица 10.2.2- Выбор сечений линий питающей сети цеха по условию согласования с аппаратом защиты

№ п/п	Назначение участка линии питающей сети	Сечение, выбранное из условия допустимого нагрева $S_n$ , мм <sup>2</sup>	Допустимый длительно-ток $I_{доп}$ , А	Согласование выбранного сечения с аппаратом защиты				$I_{доп}$ , А	Принятое сечение и марка участка питающей сети
				$K_3$	$K_n$	$I_3=I_n$ .расц.	$I_{доп} \geq K_3 * I_3 / K_n$ , А		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	КТП-РП	4x300	635	1	1	630	630	635	4x300
2.	РП-ПР1	4x16	65	1	1	50	50	65	4x16
3.	РП-ПР2	4x70	162	1	1	160	160	162	4x70
4.	РП-ПР3	4x35	105	1	1	100	100	105	4x35
5.	РП-ПР4	4x70	162	1	1	160	160	162	4x70
6.	РП-ПР5	4x16	65	1	1	63	63	65	4x16
7.	РП-ПР6	4x70	162	1	1	160	160	162	4x70

Таблица 10.2.3- Выбор распределительной сети и аппаратов защиты

№ на пл.	ЭП	Р <sub>н</sub> , кВт	I <sub>p</sub> , А	I <sub>пик</sub> , А	Выбор выключателя				Выбор проводника	
					Серия ВА; I <sub>ном ав</sub> , А	I <sub>темп</sub> , А	Кратность	I <sub>элм уст</sub> , А	Марка проводника	I <sub>доп.пр.</sub> А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,30	Кран-балка	12,6	40,35	100,9	ВА57-31-34	50	3	152	АП вВнг(А) LS(4х10)	61
2,3,4,5	Фрезерный станок	7	18,68	93,4	ВА57-31-35	25	6	140	АП вВнг(А) LS(4х4)	34
6,7,8,10	Трубогибочный станок	14	37,36	186,8	ВА57-31-35	50	6	280	АП вВнг(А) LS(4х10)	61
9,26	Шлифовальный станок	8	21,35	106,75	ВА57-31-35	31.5	5	160	АП вВнг(А) LS(4х6)	46
12,13,14,24	Сварочный трансформатор	40	80	240	ВА57-31-35	100	3	360	АП вВнг(А) LS(4х35)	131
15,27	Сушильный шкаф	8	13,48	40,44	ВА57-31-35	20	3	61	АП вВнг(А) LS(4х2,5)	26
16,17	Закалочная печь	40	67,42	202,26	ВА57-31-34	100	3	303	АП вВнг(А) LS(4х35)	131
18	Пресс	40	98,54	492,68	ВА57-31-34	125	6	740	АП вВнг(А) LS(4х50)	165
19,20,21,22,23,25,34	Токарный станок	6	16,01	80,05	ВА57-31-35	20	6	120	АП вВнг(А) LS(4х2,5)	26
28,29	Электрованна	30	50,56	126,4	ВА57-31-34	63	3	190	АП вВнг(А) LS(4х25)	107
31	Вентилятор	7	14,01	42,03	ВА57-31-35	20	3	63	АП вВнг(А) LS(4х2,5)	26
32,36	Электромолот	25	66,72	333,6	ВА57-31-35	100	4	417	АП вВнг(А) LS(4х35)	131
33,40	Вентилятор горна	15	30,02	90,06	ВА57-31-35	50	2.5	135	АП вВнг(А) LS(4х10)	61



35	Обдирочный станок	21	56,04	280,2	BA57-31-35	100	4	420	АП вВНГ(А) LS(4x25)	107
37	Сверлильный станок	4	10,67	53,35	BA57-31-35	16	5	80	АП вВНГ(А) LS(4x25)	107
38	Поворотный кран	5	16,01	40,025	BA57-31-35	20	3	60	АП вВНГ(А) LS(4x2,5)	26
39	Нагревательная плита	10	16,85	50,55	BA57-31-35	31,5	2	76	АП вВНГ(А) LS(4x4)	34



Рисунок 10.1-План силовой сети кузнечного цеха

### 10.3 Построения эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее удалённого от цеховой ТП электроприёмника для режимов максимальных и минимальных нагрузок

Отклонение напряжения – разность между фактическим и номинальным напряжением, %.

Падение напряжения – геометрическая разность между напряжением в начале и конце линии.

Потеря напряжения – арифметическая разность между напряжением в начале и конце линии.

Основные расчётные выражения:

$$\Delta U_{ij} = \frac{P_{ij}R_{ij} + Q_{ij}X_{ij}}{10U_i^2};$$

$$\Delta U_m = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

где  $\Delta U_{ij}$  – отклонение напряжения на соответствующем участке сети %;

$P_{ij}$  – поток активной мощности, передаваемый по соответствующему участку сети, кВт;

$Q_{ij}$  – поток реактивной мощности, передаваемый по соответствующему участку сети, кВАр;

$R_{ij} = \tau_{0ij} \cdot l_{ij}$  – активное сопротивление линии соответствующего участка сети, мОм,

здесь  $\tau_{0ij}$  – удельное активное сопротивление линии соответствующего участка сети,

Ом/км, принимаемое, согласно справочной литературе [1, тср.139],

$l_{ij}$  – длина линии соответствующего участка сети, км;

$U_i$  – напряжение в начале соответствующего участка сети, кВ;

$\Delta U_m$  – отклонение напряжения на цеховом трансформаторе %;

$$\beta_m = \frac{S_{ij}}{S_{н.тр.}} - \text{фактический коэффициент загрузки цехового трансформатора,}$$

здесь  $S_{ij}$  – поток мощности, передаваемый через цеховой трансформатор, кВА,

$S_{н.тр.}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, кВА;

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} - \text{активная составляющая напряжения короткого замыка-}$$

ния цехового трансформатора, %,

здесь  $\Delta P_{кз}$  – потери активной мощности при КЗ, кВт, принимаем согласно [1, стр.215];

$$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2} - \text{реактивная составляющая напряжения короткого за-}$$

мыкания цехового трансформатора, %,

здесь  $U_k$  – напряжение короткого замыкания, %, принимаем согласно справочной литературе [1, стр.218];

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{P - \Delta P_m}{\sqrt{(P - \Delta P_m)^2 + (Q - \Delta Q_m)^2}} - \text{коэффициент мощности для вто-}$$

ричной нагрузки цехового трансформатора,

здесь  $P$  – поток активной мощности, передаваемой через цеховой трансформатор, кВт,

$Q$  – поток реактивной мощности, передаваемой через цеховой трансформатор, кВАр,  $\Delta P_m = 0,02S$  – потери активной мощности в цеховом трансформаторе, кВт,

$\Delta Q_m = 0,1S$  – потери реактивной мощности в цеховом трансформаторе, кВАр;

$\sin \varphi_2$  – соответствующий  $\cos \varphi_2$  синус для вторичной нагрузки цехового трансформатора.

### **Расчет максимального режима:**

#### **Участок 1-2:**

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} R_{12} + Q_{12} X_{12}}{10 U_1^2};$$

$$R_{12} = r_{012} \cdot L_{12} = 0,44 \cdot 0,345 = 0,152 (Ом)$$

$$X_{12} = x_{012} \cdot L_{12} = 0,177 \cdot 0,345 = 0,061 (Ом)$$

$$P_{12} = P_{\text{ЛН}\#8 + \text{ЛН}\#4 + \text{ЛН}\#6 + \text{ЛН}\#11} = 289,91 + 102,35 + 88,37 + 168,3 = 648,93 (\kappa Bm)$$

$$Q_{12} = Q_{\text{ЛН}\#8 + \text{ЛН}\#4 + \text{ЛН}\#6 + \text{ЛН}\#11} = 161,11 + 145,32 + 121,1 + 203,49 = 631,02 (\kappa BAp)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{648,93 \cdot 0,152 + 631,02 \cdot 0,061}{10 \cdot 10,5^2} = 0,12\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{12} = 0,12 \cdot \frac{10500}{100} = 13,06 (В)$$

$$U_2 = 10500 - 13,06 = 10486,94 (В)$$

#### **Участок 2-3:**

$$\Delta U_{23} = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

$$U_a \% = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{н.тр}} \cdot 100\% = \frac{2,45}{1000} \cdot 100\% = 0,245(\%)$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 0,245^2} = 5,49(\%)$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{648,93^2 + 631,02^2}}{1000} = 0,91$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 905,15 = 18,1 (\kappa Bm)$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 905,15 = 90,515 (\kappa BAp)$$

$$P_2' = P_{12} - \Delta P_m = 648,93 - 18,1 = 630,83 (Bm)$$

$$Q_2' = Q_{12} - \Delta Q_m = 631,02 - 90,515 = 540,5 (\kappa BAp)$$

$$S_2' = \sqrt{P_2'^2 + Q_2'^2} = \sqrt{630,83^2 + 540,5^2} = 830,71 (\kappa BA)$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2'}{S_2'} = \frac{630,83}{830,71} = 0,76$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_2'}{S_2'} = \frac{540,5}{830,71} = 0,65$$

$$\Delta U_{23} = 0,9(0,245 \cdot 0,76 + 5,49 \cdot 0,65) + \frac{0,9^2}{200}(0,245 \cdot 0,65 - 5,49 \cdot 0,76) = 3,4(\%)$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН:

$$10486,94 - 3,4 \cdot \frac{10486,94}{100} = 10130,4(B)$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_3 = 400 \cdot \frac{10130,4}{10500} = 385,9(B)$$

#### **Участок 3-4:**

$$R_{34} = r_{034} \cdot L_{34} = 0,077 \cdot 0,001 = 0,000077(Ом)$$

$$X_{34} = x_{034} \cdot L_{34} = 0,06 \cdot 0,001 = 0,00006(Ом)$$

$$P_{34} = P_{PI} = 289,91(кВт)$$

$$Q_{34} = 161,11(кВАр)$$

$$\Delta U_{34} = \frac{289,91 \cdot 0,000077 + 161,11 \cdot 0,00006}{10 \cdot (385,05 \cdot 10^{-3})^2} = 0,021(\%);$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{34} = 0,021 \cdot \frac{385,9}{100} = 0,08(B)$$

$$U_4 = 385,9 - 0,08 = 385,9(B)$$

#### **Участок 4-5:**

$$R_{45} = r_{045} \cdot L_{45} = 0,44 \cdot 0,029 = 0,013(Ом)$$

$$X_{45} = x_{045} \cdot L_{45} = 0,06 \cdot 0,029 = 0,0017(Ом)$$

$$P_{45} = P_{PI2} = 80,84(кВт)$$

$$Q_{45} = 39,4(кВАр)$$

$$\Delta U_{45} = \frac{80,84 \cdot 0,01 + 39,4 \cdot 0,0017}{10 \cdot (385,05 \cdot 10^{-3})^2} = 0,59(\%);$$

Или в вольтах:  $\Delta U_{45} = 0,59 \cdot \frac{385,9}{100} = 2,27(B)$

$U_5 = 385,9 - 2,27 = 383,63(B)$

#### Участок 5-6:

$R_{56} = 0,625 \cdot 0,033 = 0,02(Ом)$

$X_{56} = 0,06 \cdot 0,033 = 0,002(Ом)$

$P_{56} = 40(кВт)$

$Q_{56} = 46,8(кВАр)$

$\Delta U_{56} = \frac{40 \cdot 0,0244 + 46,8 \cdot 0,002}{10 \cdot (383,63 \cdot 10^{-3})^2} = 0,73(\%);$

Или в вольтах:  $\Delta U_{56} = 0,73 \cdot \frac{383,63}{100} = 2,8(B)$

$U_6 = 383,63 - 2,8 = 380,8(B)$

#### Расчет минимального режима:

Для минимального режима необходим годовой график активной и реактивной нагрузок, в качестве такого графика, используя справочную литературу [6, стр.21], принимаем характерный суточный график нагрузок ремонтно-механических заводов, представленный ниже.

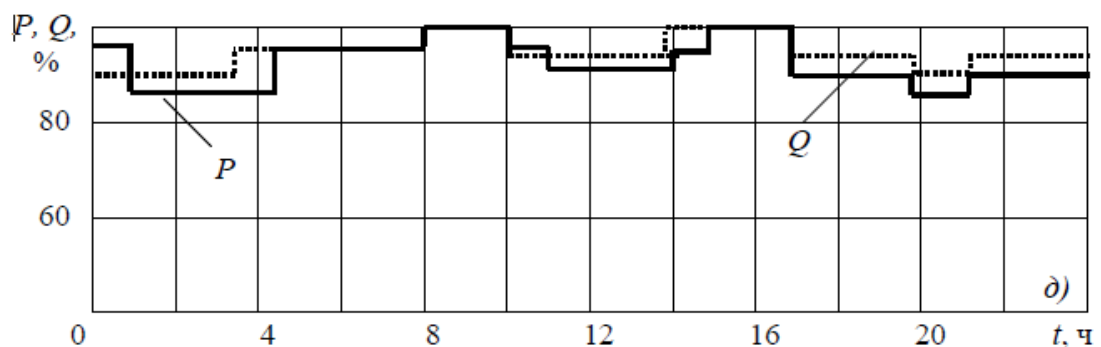


Рисунок 10.2 - Характерные суточные графики нагрузок химического заводов

$P_{\min 12} = 0,95 \cdot P_{\max 12} = 0,95 \cdot 648,93 = 616,48(кВт)$

$Q_{\min 12} = 0,9 \cdot Q_{\max 12} = 0,9 \cdot 631,02 = 567,92(кВАр)$

**Участок 1-2:**

$$R_{12} = r_{012} \cdot L_{12} = 0,44 \cdot 0,345 = 0,152 (Ом)$$

$$X_{12} = x_{012} \cdot L_{12} = 0,177 \cdot 0,345 = 0,061 (Ом)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{616,48 \cdot 0,152 + 567,92 \cdot 0,061}{10 \cdot 10500^2} = 0,0000001 (\%);$$

$$\text{Или в вольтгах: } \Delta U_{12} = 0,0000001 \cdot \frac{10500}{100} = 0,00001 (В)$$

$$U_2 = 10500 - 0,00001 = 10500 (В)$$

**Участок 2-3:**

$$\Delta U_{23} = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

$$U_a \% = \frac{\Delta P_\kappa}{S_{н.мп}} \cdot 100\% = \frac{2,45}{1000} \cdot 100\% = 0,245 (\%)$$

$$U_p \% = \sqrt{U_\kappa^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 0,245^2} = 5,49 (\%)$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{616,48^2 + 567,92^2}}{1000} = 0,84$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 838,2 = 16,76 (\kappa Bm)$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 838,2 = 83,82 (\kappa BAp)$$

$$P_2' = P_{12} - \Delta P_m = 616,48 - 16,76 = 599,72 (Bm)$$

$$Q_2' = Q_{12} - \Delta Q_m = 567,92 - 83,82 = 484,1 (\kappa BAp)$$

$$S_2' = \sqrt{P_2'^2 + Q_2'^2} = \sqrt{599,72^2 + 484,1^2} = 770,72 (\kappa BA)$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2'}{S_2'} = \frac{599,72}{770,72} = 0,78$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_2'}{S_2'} = \frac{484,1}{770,72} = 0,63$$

$$\Delta U_{23} = 0,84 (0,245 \cdot 0,78 + 5,49 \cdot 0,63) + \frac{0,84^2}{200} (0,245 \cdot 0,63 - 5,49 \cdot 0,78) = 3,08 (\%)$$



С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН:

$$10500 - 3,08 \cdot \frac{10500}{100} = 10176,6 (В)$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_3 = 400 \cdot \frac{10176}{10500} = 387,6 (В)$$

#### **Участок 3-4:**

$$R_{34} = r_{034} \cdot L_{34} = 0,077 \cdot 0,001 = 0,000077 (Ом)$$

$$X_{34} = x_{034} \cdot L_{34} = 0,06 \cdot 0,001 = 0,00006 (Ом)$$

$$P_{34} = P_{PI} = 275,4 (кВт)$$

$$Q_{34} = 144,9 (кВАр)$$

$$\Delta U_{34} = \frac{275,4 \cdot 0,000077 + 144,9 \cdot 0,00006}{10 \cdot (387,6 \cdot 10^{-3})^2} = 0,02 (\%);$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{34} = 0,02 \cdot \frac{387,6}{100} = 0,077 (В)$$

$$U_4 = 387,6 - 0,07 = 387,6 (В)$$

#### **Участок 4-5:**

$$R_{45} = r_{045} \cdot L_{45} = 0,44 \cdot 0,029 = 0,01 (Ом)$$

$$X_{45} = x_{045} \cdot L_{45} = 0,06 \cdot 0,029 = 0,0017 (Ом)$$

$$P_{45} = 0,95 P_{II P2} = 0,95 \cdot 80,84 = 76,78 (кВт)$$

$$Q_{45} = 0,9 \cdot 39,4 = 35,46 (кВАр)$$

$$\Delta U_{45} = \frac{76,78 \cdot 0,01 + 35,46 \cdot 0,0017}{10 \cdot (386,4 \cdot 10^{-3})^2} = 0,55 (\%);$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 0,55 \cdot \frac{387,6}{100} = 2,13 (В)$$

$$U_5 = 387,6 - 2,13 = 385,46 (В)$$

#### **Участок 5-6:**

$$R_{56} = 0,625 \cdot 0,033 = 0,02 (Ом)$$

$$X_{56} = 0,06 \cdot 0,033 = 0,002 (Ом)$$

$$P_{56} = 38(\text{кВт})$$

$$Q_{56} = 42,12(\text{кВАр})$$

$$\Delta U_{56} = \frac{38 \cdot 0,02 + 42,12 \cdot 0,002}{10 \cdot (385,46 \cdot 10^{-3})^2} = 0,57(\%);$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{56} = 0,57 \cdot \frac{385,46}{100} = 2,19(\text{В})$$

$$U_6 = 385,46 - 2,65 = 383,3(\text{В})$$

Расчёты для построения эпюры отклонений напряжения для максимального и минимального режимов систематизируем в виде таблицы, представленной ниже.

Таблица 9.3.1- Расчётные данные для построения эпюры отклонений напряжения

	Максимальный режим	Минимальный режим
$P_{12}, \text{ кВт}$	648,93	616,48
$Q_{12}, \text{ кВАр}$	631,02	567,92
$\Delta U_{12}, \%$	0,12	0
$\Delta U_{12}, \text{ В}$	13,06	0
$\beta_m$	0,91	0,84
$U_a$	0,245	0,245
$U_p$	5,49	5,49
$\cos \varphi_2$	0,76	0,78
$\sin \varphi_2$	0,65	0,63
$\Delta U_{23} = \Delta U_m, \%$	3,4	3,08
$\Delta U_{23} = \Delta U_m, \text{ В}$	369,6	387,6
$P_{34}, \text{ кВт}$	289,91	275,4
$Q_{34}, \text{ кВАр}$	161,11	144,9
$\Delta U_{34}, \%$	0,021	0,02
$\Delta U_{34}, \text{ В}$	0,08	0,07
$P_{45}, \text{ кВт}$	80,84	76,78
$Q_{45}, \text{ кВАр}$	39,4	35,46
$\Delta U_{45}, \%$	0,59	0,55
$\Delta U_{45}, \text{ В}$	2,27	2,13
$P_{56}, \text{ кВт}$	40	38
$Q_{56}, \text{ кВАр}$	46,8	42,12
$\Delta U_{56}, \%$	0,73	0,57
$\Delta U_{56}, \text{ В}$	2,7	2,19

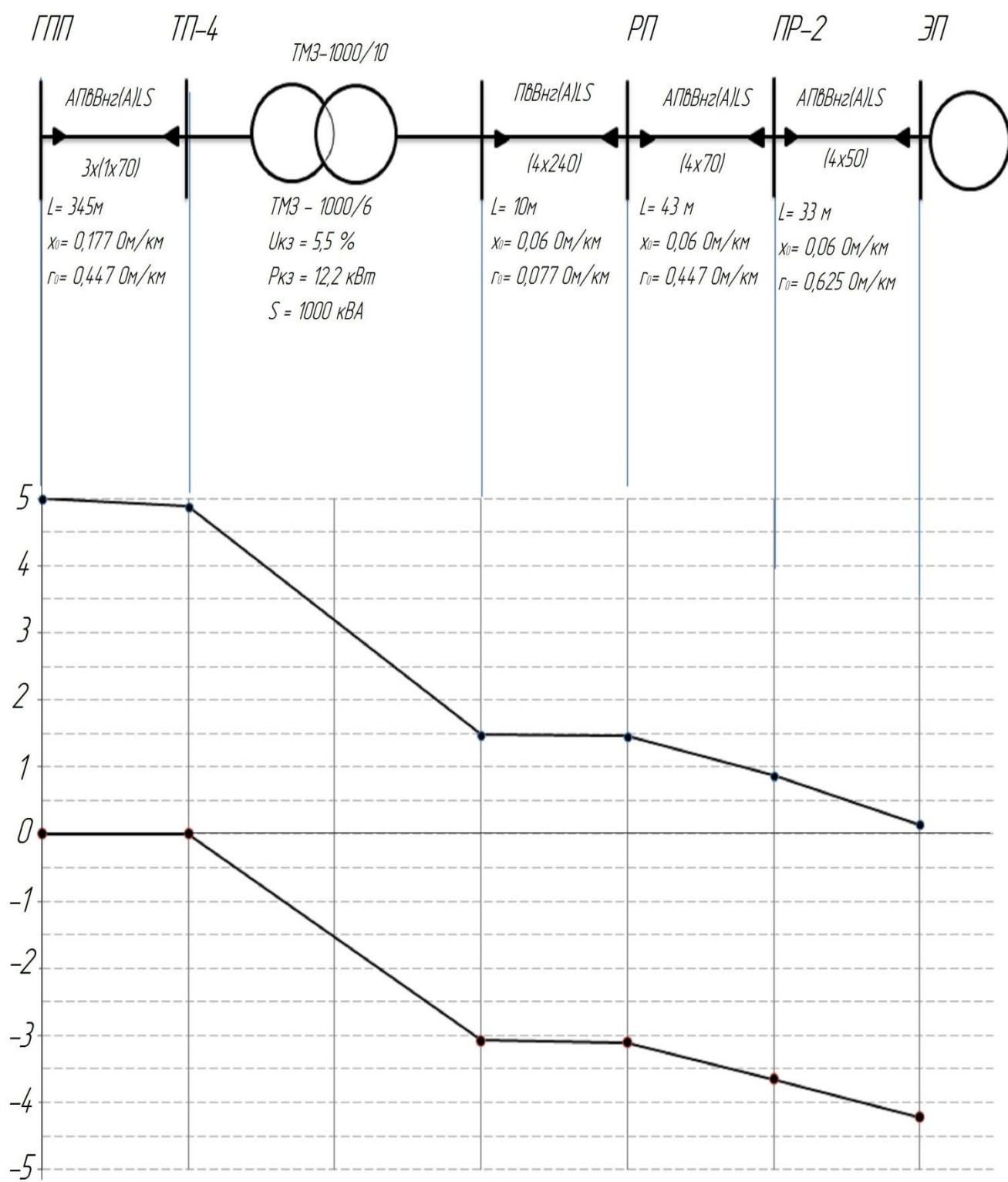


Рисунок 10.3 - Эпюры отклонений напряжения

## 10.4 Расчёт токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха

Расчёт токов КЗ в сети до 1000 В обладает следующими особенностями:

- принимаем мощность системы  $S_c = \infty$ , что правомерно  $S_c \geq 50S_{н.тр.}$ . При этом напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 В;
- при расчёте учитываются все активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силовой трансформатор, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;
- расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение берётся на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U = 400$  В, действующая величина тока короткого замыкания  $I_k = U / \sqrt{3}Z_{\Sigma}$ .

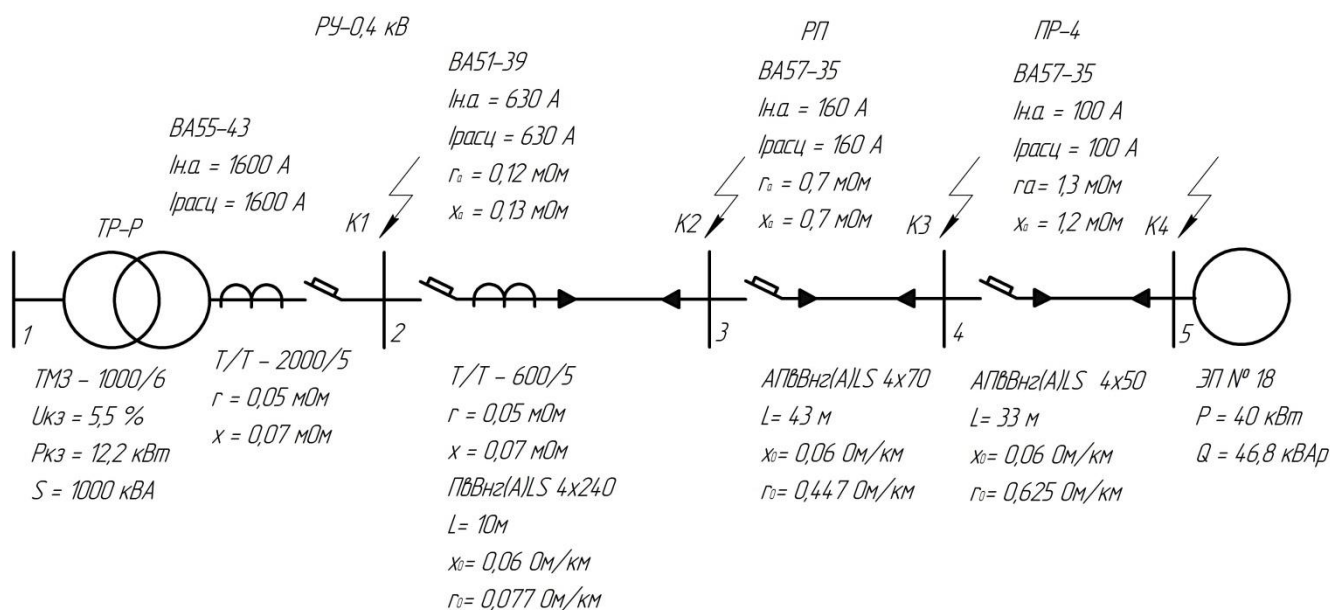


Рисунок 10.4 - Расчётная схема для участка цеховой сети 0,4 кВ ТП – ЭП №18

### Расчёт токов для точки К1:

$$R_m = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U^2}{S_{н.тр.}^2} = \frac{12,2 \cdot 400^2}{1000^2} = 1,95 (мОм) - \text{активное сопротивление трансформатора};$$

$$U_a = \frac{\Delta P_{K3} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} = \frac{12,2 \cdot 100\%}{1000} = 1,22 (\%) - \text{активная составляющая напряжения КЗ};$$

$$U_p = \sqrt{(U_K)^2 - (U_a)^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,22^2} = 5,36 \% - \text{реактивная составляющая напряжения КЗ};$$

$$X_m = \frac{U_p\%}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{н.тр.}} = \frac{5,36}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 8,58 (мОм) - \text{активное сопротивление трансформатора};$$

$$R_{к1} = 0,08 (мОм) - \text{активное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя};$$

$$X_{к1} = 0,08 (мОм) - \text{реактивное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя};$$

$$R_{пер1} = 0,1 (мОм) - \text{переходное сопротивление контактов.}$$

Для трансформатора тока, согласно [2, стр.63] при коэффициенте трансформации  $K_T=2000/5$  принимаем следующие величины:

$$R_{mm1} = 0,05 (мОм) - \text{активное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока};$$

$$X_{mm1} = 0,07 (мОм) - \text{реактивное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока.}$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{(R_m + R_{к1} + R_{пер1} + R_{mm1})^2 + (X_m + X_{к1} + X_{mm1})^2} = \\ = \sqrt{(1,95 + 0,08 + 0,1 + 0,05)^2 + (8,58 + 0,08 + 0,07)^2} = 9 (мОм)$$

;

$$I_{к1} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 9} = 25,69 (кА);$$

$$\text{Согласно [1, стр.128] принимаем } K_{уд1} = 1,3;$$

$$i_{y1} = I_{к1} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{уд1} = 25,69 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,3 = 47,23 (кА).$$

### Расчёт токов для точки К2:

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2, стр.63] следующие величины:

$R_{к2} = 0,12(мОм)$  – активное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$X_{к2} = 0,13(мОм)$  – реактивное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$R_{пер2} = 0,25(мОм)$  – переходное сопротивление контактов.

Для трансформатора тока, согласно [2, стр.63] при коэффициенте трансформации  $K_T=600/5$  принимаем следующие величины:

$R_{mm2} = 0,05(мОм)$  – активное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока;

$X_{mm2} = 0,07(мОм)$  – реактивное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока.

Для кабеля ПвВнг(А)LS (4х240) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 77 \cdot 0,001 = 0,077(мОм);$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 0,06 \cdot 10 = 0,6(мОм);$$

$$Z_{\Sigma к2} = \sqrt{(R_{к2} + R_{пер2} + R_{mm2} + R_{каб2})^2 + (X_{к2} + X_{mm2} + X_{каб2})^2} = \\ = \sqrt{(0,12 + 0,25 + 0,05 + 0,077)^2 + (0,13 + 0,07 + 0,6)^2} = 0,98(мОм)$$

$$Z_{\Sigma к1+2} = Z_{\Sigma к1} + Z_{\Sigma к2} = 9 + 0,98 = 9,98(мОм)$$

$$I_{к2} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma к2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 9,98} = 23,16(кА);$$

Согласно [1, стр.128] принимаем  $K_{уд2} = 1,25$ ;

$$i_{y2} = I_{к2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{уд2} = 23,16 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,25 = 40,96(кА).$$

Расчёт токов для точки КЗ:

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2, стр.63] следующие величины:

$R_{к3} = 0,7(мОм)$  – активное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$X_{к3} = 0,7(мОм)$  – реактивное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$R_{пер2} = 0,7(мОм)$  – переходное сопротивление контактов.

Для кабеля АПВВнг(А)LS (4х70) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 447 \cdot 0,043 = 19,2(мОм);$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 0,06 \cdot 43 = 2,58(мОм);$$

$$Z_{\Sigma к3} = \sqrt{(R_{к3} + R_{пер3} + R_{каб3})^2 + (X_{к3} + X_{каб3})^2} = \\ = \sqrt{(0,7 + 0,7 + 19,2)^2 + (0,7 + 2,58)^2} = 20,85(мОм)$$

$$Z_{\Sigma к1+2+3} = Z_{\Sigma к1} + Z_{\Sigma к2} + Z_{\Sigma к3} = 9 + 0,98 + 20,85 = 30,83(мОм)$$

$$I_{к3} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma к2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 30,83} = 7,5(кА);$$

Согласно [1, стр.128] принимаем  $K_{уд2} = 1,15$ ;

$$i_{y3} = I_{к3} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{уд3} = 7,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,15 = 12,2(кА).$$

#### Расчёт токов для точки К4:

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2, стр.63] следующие величины:

$R_{к4} = 1,3(мОм)$  – активное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$X_{к4} = 1,2(мОм)$  – реактивное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$R_{пер2} = 0,75(мОм)$  – переходное сопротивление контактов.

Для кабеля АПВВнг(А)LS (4х50) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 625 \cdot 0,033 = 20,63(мОм);$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 0,06 \cdot 33 = 1,98(мОм);$$

$$Z_{\Sigma K4} = \sqrt{(R_{K4} + R_{nep4} + R_{Ka\bar{b}4})^2 + (X_{K4} + X_{Ka\bar{b}4})^2} =$$

$$= \sqrt{(1,3 + 0,75 + 20,63)^2 + (1,2 + 1,98)^2} = 23,39 (MOM)$$

$$Z_{\Sigma K1+2+3+4} = Z_{\Sigma K1} + Z_{\Sigma K2} + Z_{\Sigma K3} + Z_{\Sigma K4} = 9 + 0,98 + 20,85 + 23,39 = 54,22 (MOM)$$

$$I_{K3} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 54,22} = 4,26 (KA);$$

Согласно [1, стр.128] принимаем  $K_{y\partial 2} = 1,1$ ;

$$i_{y4} = I_{K4} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 4} = 4,26 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 6,63 (KA) .$$

$$i_{y3} = I_{K3} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 3} = 4,26 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1 = 6,66 (KA) .$$



## 10.5 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети 0,4 кВ от вводного автомата на подстанции до Электроприёмника.

Карта селективности действия аппаратов защиты строится в логарифмической системе координат и служит для проверки правильности выбора аппаратов защиты. На карту селективности наносятся:

- номинальный и пусковой токи электроприёмника;
- расчётный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- расчётный и пиковый ток подстанции;
- защитные характеристики защитных аппаратов (автоматических выключателей и предохранителя);
- значения токов КЗ в сети 0,4 кВ.

Защитные характеристики автоматических выключателей, которые необходимо использовать для построения карты селективности действия аппаратов защиты приведены в справочной литературе [3, стр.88].

Таблица 10.5.1- Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	Электроприёмник	Силовой распределительный шкаф		Подстанция ТП-4	Значение тока КЗ в соотв. точках, кА			
	Пресс	ПР №2	РП		1	2	3	4
Расчётный ток, А	—	140,1	514,77	1519,34	25,69	23,16	7,5	6,63
Пиковый ток, А	—	608,165	982,135	1986,36				
Номинальный ток, А	98,54	—	—	—				
Пусковой ток, А	492,68	—	—	—				

Таблица 10.5.2- Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
BA55-43	1600	6400
BA51-39	630	1920
BA57-35	160	800
BA57-35	100	800

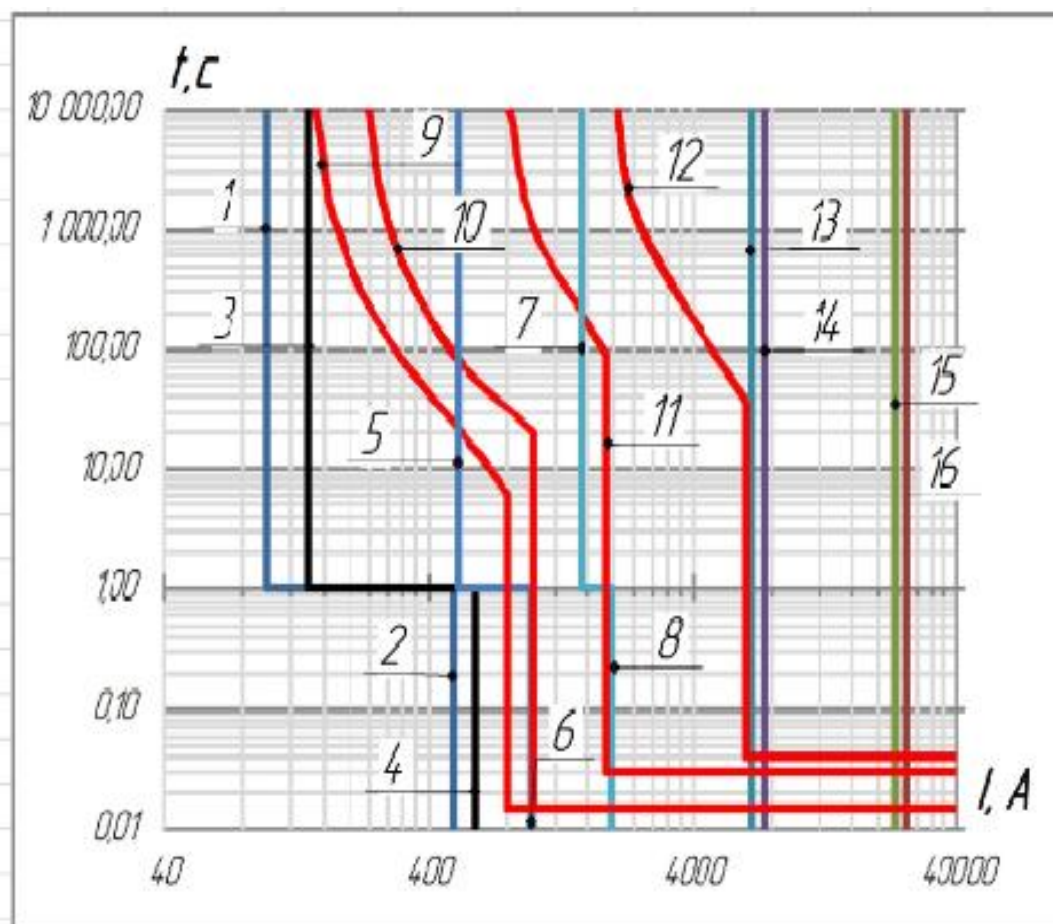


Рисунок 10.5 - Карта селективности действия защит

- 1 – номинальный ток двигателя;
- 2 – пусковой ток двигателя;
- 3 – расчётный ток силового распределительного шкафа РП;
- 4 – пиковый ток силового распределительного шкафа РП;
- 5 – расчётный ток силового распределительного шкафа ПР2;
- 6 – пиковый ток силового распределительного шкафа ПР2;
- 7 – расчётный ток подстанции ТП-4;
- 8 – пиковый ток подстанции ТП-4;
- 9 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35;
- 10 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35;
- 11 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА51-39;
- 12 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА55-43;
- 13, 14, 15, 16 – токи КЗ в точках, указанных на рис. 6.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕ- СУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5А3ДЗ	Романов Алексей Сергеевич

<b>Институт</b>	<b>Электронного обуче- ния</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПП</b>
<b>Уровень образова- ния</b>	Бакалавр	<b>Направление/специа- льность</b>	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- стоимость материалов и оборудования; - квалификация исполнителей; - трудоемкость работы.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- нормы амортизации; - размер минимальной оплаты труда.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- отчисления в социальные фонды.

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	- формирование вариантов решения с учетом технического уровня.
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	- планирование выполнения проекта - график проектирования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	- расчет бюджета на проектирование; - расчет капитальных вложений в основные средства.

### Перечень графического материала:

1. <i>График проектирования</i>
---------------------------------

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Фигурко А.А.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5А3ДЗ	Романов Алексей Сергеевич		

## **11. ФИНАНСОВЫЙ МЕНДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **11.1 Общие сведения**

Целью данной работы является составление сметы на проектирование электрической части “Горно-металлургического завода №2, НГМК” и расчет сметы затрат на электрооборудование цеха измельчения предприятия.

Капитальные вложения в электрооборудование – это в первую очередь, стоимость электрооборудования и стоимость строительно – монтажных работ.

Смета – это документ, определяющий окончательную и предельную стоимость реализации проекта. Смета служит исходным документом капитального вложения полного объема необходимых работ.

Исходными материалами для определения сметной стоимости строительство объекта служат данные проекта по составу оборудования, объему строительных и монтажных работ; прейскуранты цен на оборудование и строительные материалы; нормы и расценки на строительные и монтажные работы; тарифы на перевозку грузов; нормы накладных расходов и другие нормативные документы.

Решение о проектировании электроснабжения принимается на основе технико-экономического обоснования.

На основе утвержденного ТЭО заказчик заключает договор с проектной организацией на проектирование и выдает ей задание, которое содержит:

1. Ген план предприятия;
2. Расположение источника питания;
3. Сведения об электрических нагрузках;
4. План размещения электроприемников на корпусах;
5. Площадь корпусов и все территории завода

Различают две стадии проектирования:

- а) Технический проект;
- б) Рабочий чертеж.

Если проектируемый объект в техническом отношении не сложный, то обе стадии объединяются в одну – технорабочий проект.

Для того, чтобы выполнить расчет затрат на проектирование электроснабжения объекта в срок при наименьших затратах средств, составляется план график, в котором рассчитывается поэтапная трудоемкость всех работ. После определения трудоемкости всех этапов темы, назначается число участников работы по этапам (таблица 10.1)

Таблица 11.1.1 – План разработки выполнения этапов проекта

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители	Продолжительность, дн.
1	Ознакомление с производственной документацией. Постановка задачи работникам	Руководитель	4
		Инженер	4
2	Расчет электрических нагрузок по цеху	Инженер	7
3	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер	8
4	Построение картограммы нагрузок	Инженер	2
5	Выбор трансформаторов цеховых подстанций. Технико-экономический расчет компенсирующих устройств	Инженер	5
6	Выбор трансформаторов ГПП. Технико-экономический расчет схемы внешнего электроснабжения	Руководитель	1
		Инженер	6
7	Расчет внутризаводской сети предприятия	Инженер	13
8	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.	Инженер	1
9	Выбор электрооборудования в сети 1000 В.	Инженер	3
10	Расчет схемы электроснабжения цеха	Руководитель	2
		Инженер	7
11	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В	Инженер	2
12	Расчет релейной защиты и автоматики	Инженер	2
13	Расчет эпюры отклонений напряжения	Инженер	1
14	Составление расчетно-пояснительной записки	Руководитель	2
		Инженер	25
15	Чертежные работы	Руководитель	2
		Инженер	22
	Итого по каждой должности	Руководитель	11
		Инженер	108
Итого			119

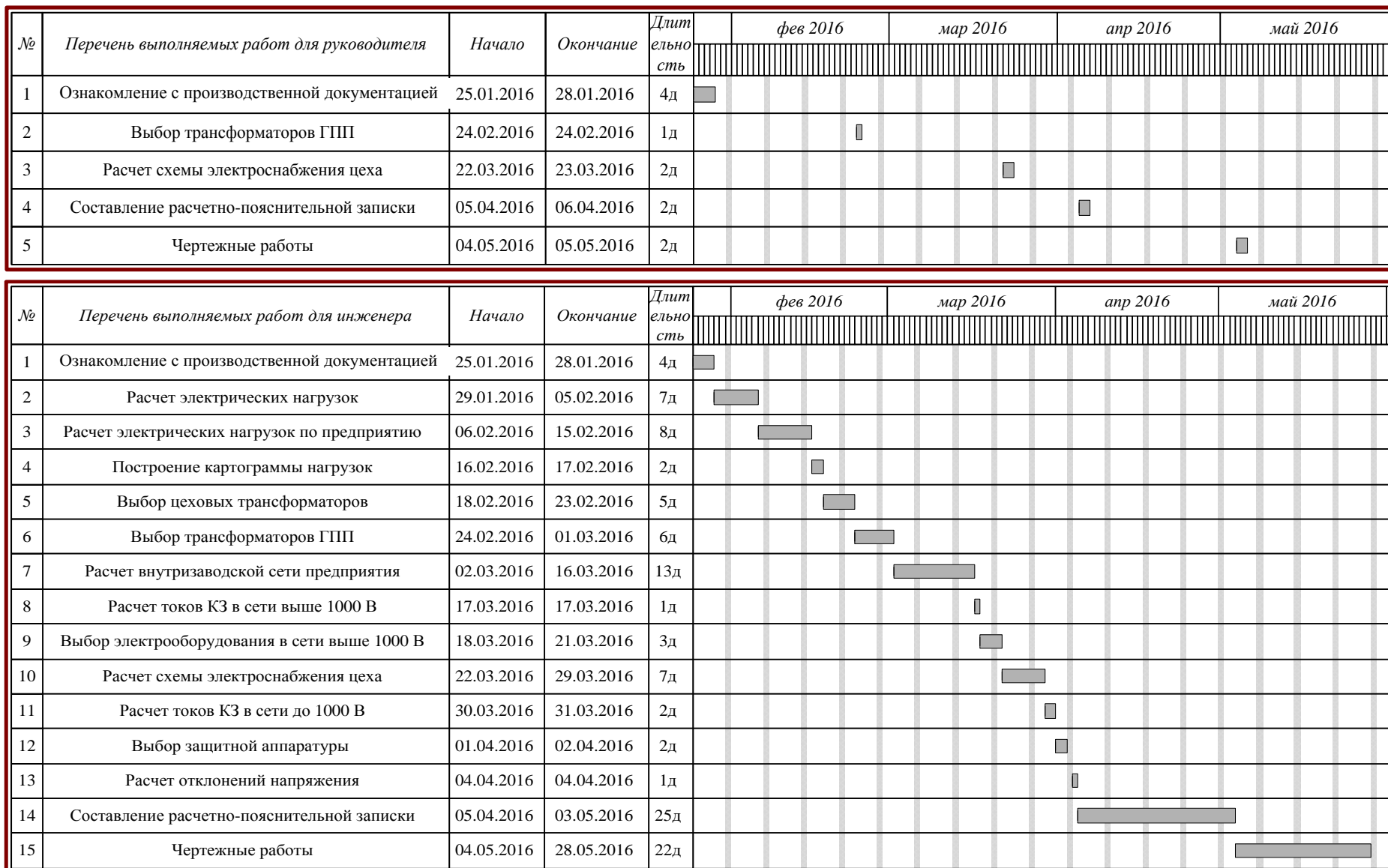


Рисунок 11.1 – Календарный план проекта

## 11.2 Смета на проектирование

### 1) Затраты на разработку проекта

$$\Sigma I_{\text{пр}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{со}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}},$$

где  $I_{\text{зп}}$  – заработная плата;

$I_{\text{мат}}$  – материальные затраты;

$I_{\text{ам}}$  – амортизация компьютерной техники;

$I_{\text{со}}$  – отчисления в социальные фонды;

$I_{\text{пр}}$  – прочие затраты;

$I_{\text{накл}}$  – накладные расходы.

### 2) Расчет зарплаты

а) Оплата научного руководителя : 6000 руб.

б) Месячная зарплата инженера

$$I_{\text{зп}}^{\text{мес}} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 20000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 28600 \text{ руб},$$

Зарплата инженера с учетом фактически отработанных дней

$$I_{\text{зп}}^{\text{ф}} = \frac{I_{\text{зп}}^{\text{мес}}}{21} \cdot n = \frac{28600}{21} \cdot 108 = 147085 \text{ руб},$$

Расчет для сотрудников проекта сведем в таблицу 10.2

в) Итого  $I_{\text{фзп}}$  сотрудников

$$I_{\text{фзп}} = 6000 + 147085 = 153085 \text{ руб}$$

Расчет для сотрудников проекта сведем в таблицу 10.2.

Таблица 11.1.2

Должность	ЗП <sub>0</sub> ,руб	Д, руб	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	I <sub>зп</sub> <sup>мес</sup> , руб
Руководитель	6000	-	-	-	6000
Инженер	18000	2000	1,1	1,3	28600
Итого	24000	2000	-	-	34600

Таблица 11.1.3 – Затраты на материалы

Материалы	Количество	Цена за единицу, руб	И <sub>м</sub> , руб
Флеш память	1	500	500
Упаковка бумаги А4 50 листов	1	200	200
Канцтовары	-	700	700
Картридж для принтера	1	2000	2000
Итого И <sub>мат</sub> , руб	-	-	3400

### 3) Амортизация основных фондов

Основной объем работы был произведен на персональных компьютерах.

$$И_{ам} = \frac{T_{исп.КТ}}{T_{кал}} \cdot Ц_{КТ} \frac{1}{T_{сл}} = \frac{48}{365} \cdot 6000 \cdot \frac{1}{3} = 263 \text{ руб}$$

где  $T_{исп.КТ}$  – время использования компьютерной техники на проект;

$T_{кал} = 365$  – годовой действительный фонд рабочего времени используемого оборудования;

$Ц_{КТ}$  – первоначальная стоимость оборудования, руб;

$T_{сл}$  – срок службы компьютерной техники (время окупаемости 3 лет).

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 11.1.4

Таблица 11.1.4

Оборудование	Стоимость, руб	Количество	$T_{э}$ , дней	И <sub>ам</sub> , руб
Компьютер	25000	1	48	1069
Принтер	5000	1	10	46
Итого И <sub>ам</sub> , руб	-	-	-	1115

### 4) Отчисления в социальные фонды (соц. Страхование, пенсионный фонд, мед. страховка) в размере 30% от $И_{ФЗП}$

$$И_{со} = 0,3 \cdot 153085 = 45925 \text{ руб.}$$

### 5) Прочие расходы ( услуги связи, затраты на ремонт оборудования...) в размере 10% от $И_{ФЗП}$ , затрат на материалы, амортизации и отчислений в социальные фонды



$$I_{\text{пр}} = 0,1 \cdot (I_{\text{ФЗП}} + I_{\text{м}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{со}}) =$$

$$= 0,1 \cdot (153085 + 3400,0 + 263 + 45925) = 20267 \text{ руб.}$$

- 6) Накладные расходы (затраты на отопление, освещение, обслуживание помещений, административные расходы ...)

$$I_{\text{накл}} = 0,16 \cdot I_{\text{ФЗП}} = 0,16 \cdot 153085 = 24493 \text{ руб.}$$

- 7) Затраты на разработку проекта

$$\Sigma I = I_{\text{ФЗП}} + I_{\text{м}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{со}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}} =$$

$$= 153085 + 3400,0 + 263 + 45925 + 20267 + 24493 = 247433 \text{ руб}$$

Расчет сметы затрат разработку проекта сведем в таблицу 10.1.5

Таблица 11.1.5 – Калькуляция сметной стоимости на выполнение проекта

№ статьи	Наименование статей расхода	Сумма, руб
1	ИФЗП	153085
2	Материалы $I_{\text{мат}}$	3400
3	Амортизация основных фондов $I_{\text{ам}}$	263
4	Социальные отчисления $I_{\text{со}}$	45925
5	Прочие расходы $I_{\text{пр}}$	20267
6	Накладные расходы $I_{\text{накл}}$	24493
Цена проекта $\Sigma I_{\text{пр}}$ , руб		247433

Таблица 11.1.6 - Матрица структурного решения выбора

Индекс параметра	Морфологический признак (параметр)	Вид (способ) исполнения		
		1	2	3
1	2	3	4	5
1	Вид тока	постоянный	переменный	импульсный
2	Охлаждение трансформаторов	Естественное воздушное	Естественное масляное	Масляное охлаждение с дутьем и есте-

				ственной циркуляцией масла
3	Материал кабеля	Алюминий	Медь	-
4	Марка кабеля	НРГ	ВВГ	АПвВнг
5	Защитная аппаратура	Плавкие предохранители	Автоматические выключатели	
6	Силовые распределительные пункты	Щиты распределительные	Типовое РП	
7	Схема внутрицехового электроснабжения	Магистральная	Радиальная	
Вариант решения				

## 11.2 Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха приведена

Таблица 11.2.1 - Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха приведена

№ п/п	Наименование оборудования	Единица измерения	Количество	Сметная стоимость, тыс. руб.		Общая стоимость, тыс. руб.	
				Оборудование	Монтаж	Оборудование	Монтаж
1	Трансформаторы ТМЗ 1000/10	шт	1	680	84,10	1360	168,2
2	ПР8503-73507	шт	7	8,36	5,38	16,72	10,76
4	ВА57-35	шт	1	4,85	0,88	4,85	0,88
	ВА57-35	шт	14	2,69	0,47	37,66	6,58
	ВА51-39	шт	3	1,53	0,32	4,59	0,96
	ВА55-43	шт	5	0,52	0,09	2,6	0,45
<b>Кабели</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
5	АПвПу (1х70)	км	0,345	6,58	1,58	0,82	0,20
	ПвВнг(А)-LS(4х240)	км	0,01	13,20	3,49	1,56	0,18
	АП вВнг(А)- LS(4х10)	км	0,063	17,80	4,75	2,42	0,33
	АП вВнг(А)- LS(4х35)	км	0,73	25,60	5,26	1,66	0,11
	АП вВнг(А)- LS(4х16)	км	0,066	78,15	16,02	6,80	0,59
	АП вВнг(А)- LS(4х25)	км	0,02	210,00	42,00	7,35	0,26
	АП вВнг(А)- LS(4х6)	км	0,01	350,45	68,32	36,80	3,86
	АП вВнг(А)- LS(4х4)	км	0,065	580,50	87,65	124,81	26,83
	АП вВнг(А)- LS(4х2,5)	км	0,25	1,89	0,27	3,30	5,76
	АП вВнг(А)- LS(4х70)	км	0,08				
<b>Итого по цеху, тыс. руб</b>						<b>1785,202</b>	<b>280,45</b>

Полная стоимость затрат на разработку проекта, оборудование и монтаж

$$K = K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} + K_{\text{монт}} = 514825 + 1785,202 + 280,45 = 516890,652 \text{ руб}$$

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5АЗДЗ	Романов Алексей Сергеевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Отделение электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Рабочая зона – рабочее место сотрудника энергослужбы предприятия, оборудованное ПК.</i>
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с обрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<b>Провести анализ следующих вредных факторов:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Отклонение параметров микроклимата от допустимых значений;</li> <li>– Повышенный уровень шума;</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– Электромагнитное излучение.</li> </ul> <b>Провести анализ следующих опасных факторов:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Опасность поражения электрическим током</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность:</b> 2 Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<i>Анализ воздействия на окружающую среду: воздействие на литосферу (образование отходов в процессе работы в рассматриваемой рабочей зоне).</i>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<i>На данном предприятии могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации:</i> -взрыв; -пожар. <i>Разработка превентивных мер и действий в случае возникновения ЧС (применение вентиляционных установок и автоматической системы оповещения; оснащение помещений средствами пожаротушения; инструкция по пожарной безопасности и других ЧС; наличие ответственного лица при возникновении ЧС; план эвакуации людей из зданий и помещения).</i>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<i>Разработка организационных мероприятий при компоновке рабочей зоны в соответствии с эргономическими требованиями.</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская А.М.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д3	Романов А.С.		

## **12. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.**

В данном разделе дипломной работы рассмотрены следующие вопросы охраны труда: рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике. Наряду с этими вопросами необходимо также рассмотреть и вопросы предупреждения опасного и вредного воздействия окружающей среды на человека.

Все специалисты, инженерно-технический персонал, а также руководители предприятий, обязаны знать законы, требования и рекомендации безопасности жизнедеятельности. Это связано с тем, что они несут ответственность за сохранение здоровья своих подчиненных и своего личного.

Долгое время при организации труда пользователей персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) использовались временные санитарные нормы, носившие рекомендательный характер и даже в силу этого не способствовавшие уделению должного внимания организации труда этой категории работников. В настоящее время вступили в действие «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»,

СанПиН 2.2.4.548–96. ГОСТ 12.1.003-2014, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Эти нормативные требования дополняются требованиями [13, 14 , 15].

### **Производственная безопасность**

#### **Анализ опасных и вредных факторов**

При работе с ПЭВМ инженеры сталкиваются с воздействиями таких физически опасных производственных факторов как: поражение электрическим током; вредных производственных факторов: электромагнитное излучение; недостаточная освещенность рабочей зоны; повышенная или пониженная температура среды; повышенный уровень шума.

Многие сотрудники подвержены воздействиям таких психологических факторов, как перенапряжение зрения, слуха и нервов, монотонность труда.

Воздействие выше указанных опасных факторов может привести к гибели человека, Воздействие вредных факторов может вызвать утомление работника, что в дальнейшем приведет к снижению работоспособности и развитию проф. болезней.

### **Производственная санитария**

На рабочих местах большое значение отводится созданию комфортных условий труда, которые обеспечиваются параметрами микроклимата и степенью запыленности воздуха.

Размеры помещения в котором проходят необходимые работы должны соответствовать количеству работающих и размещаемому в этом помещении оборудованию. В данных помещениях необходимо, чтобы температура, освещение, чистота воздуха, производственные шумы и т.д. удовлетворяли всем требованиям ГОСТ и СанПиН.

Санитарные нормы СП 2.2.1.1312-03 устанавливают на одного работающего, объём производственного помещения не менее 15 м<sup>3</sup>, площадь помещения выгороженного стенами или глухими перегородками не менее 4,5 м<sup>2</sup>

### **Шумы и мероприятия по их снижению**

Шум - это беспорядочные звуковые колебания разной физической природы, характеризующиеся случайным изменением амплитуды, частоты и др.

Источником шума является работающее электрооборудование.

Присутствие шумов на рабочем месте оказывает вредное воздействие на организм человека, ухудшает условия труда.

Шум определяется следующими параметрами: уровень звука L, дБА.

уровень звукового давления A, дБ; интенсивность звука I, Вт/м<sup>2</sup>;

Нормирование шума осуществляется с помощью ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности» и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах». В данных документах предусмотрены два метода нормирования шума: по предельному спектру шума и по эквивалентному уровню шума в дБА.

Для измерения шума применяют шумомеры, анализаторы и другие приборы. Все измерения производят в соответствии с ГОСТ ISO 9612-2016.

Наиболее перспективным способом снижения шума является создание малошумного оборудования, при этом вводится техническое нормирование шума машин. В паспорте машины указывается шумовая характеристика.

В соответствии с ГОСТ 12.1003-2014 защита от шума, создаваемого на рабочих местах внутренними и внешними источниками, осуществляется уменьшением шума в источнике, применением средств коллективной (ГОСТ 12.1029-80) и индивидуальной (47. СП 51.13330.2011) защиты.

Коллективные средства защиты: защита самого источника шума, снижение шума на пути распространения (кожухи, экраны кабины) облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом (снижает шум на 6-8 дБ); экранирование рабочего места (постановкой перегородок, диафрагм); установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум.

Индивидуальные средства защиты: использование наушников, противошумных шлемов.

### **Освещение на рабочем месте**

Производственное освещение – это система необходимых мер и совокупность устройств, которые обеспечивают благоприятные условия для работы органов зрительной системы человека.

Правильно организованное рабочее место человека, в плане освещенности, сохраняет зрение человека, а также содействует нормальному состоянию нервной системы, обеспечивает безопасность в процессе трудовой деятельности. Производительность труда напрямую зависит от освещения, и при правильном расположении источников света, производительность повышается на 10-12%.

Для обеспечения освещённости необходимо использовать совмещённое освещение, при котором естественное дополняется искусственным. Причём естественное освещение является боковым (осуществляется через световые проёмы в наружных стенах), а искусственное - общим. В условиях недостаточной освещенности в утреннее и вечернее время используется искусственное



освещение. Роль источников света при искусственном освещении выполняют люминесцентные лампы. Они обладают высокой световой отдачей и имеют более продолжительный срок службы в отличие от обычных ламп накаливания. Согласно действующим ГОСТР 50948, ГОСТР 50949, СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03, СП52.13330.2016 (актуализированная редакция СНиП 23-05-95) для искусственного освещения регламентировано наименьшая допустимая освещенность рабочего места – 300 лк для IV разряда, подразряда работ «а».

Для данного задания значение нормируемой освещенности 300 лк.

Люминесцентные светильники располагаются рядами, равномерно размещаясь по всей поверхности. При высоких уровнях нормированной освещенности светильники располагаются непрерывными рядами. Примем высоту рабочей поверхности над полом  $h_p = 0,8$  м. Тогда высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p = 3,1 - 0,8 = 2,3;$$

расстояние между соседними светильниками или рядами:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2,3 = 2,76 \text{ м.}$$

На рисунке 5.1 показан план помещения и расположение светильников.

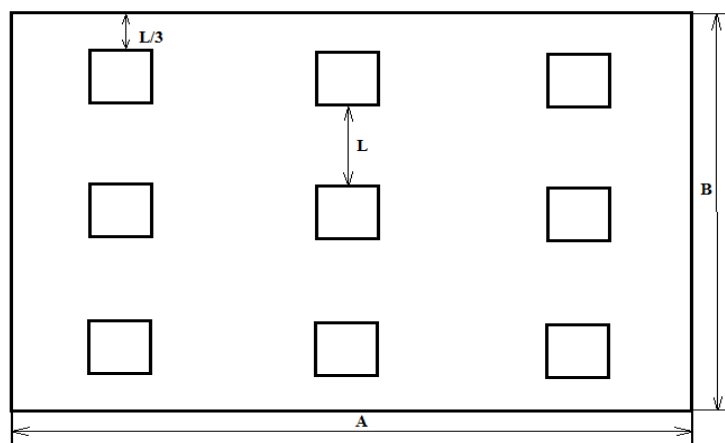


Рисунок 12.1 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100 / n \cdot \eta;$$

где  $E_n = 300$  лк – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95;

$S = 50,5$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;

$K_z = 1.5$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере пыли;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{ср.}/E_{min.}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

$n = 9$  – число светильников;

$\eta = 49$  – коэффициент использования светового потока, % .

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / h(A+B) = 50,5 / 2,3 \cdot (8,7+5,8) \approx 1,5.$$

Выбираем  $\rho_c = 50\%$  (свеже-побеленные стены с окнами, закрытыми шторами);  $\rho_n = 70\%$  (свеже-побеленный потолок).

Значения коэффициента использования светового потока светильников с люминесцентными лампами  $\eta = 49\%$ .

Световой поток группы люминесцентных ламп (4 лампы):

$$\Phi = 300 \cdot 50,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100 / 4 \cdot 49 = 12753,82 \text{ лм.}$$

Световой поток, приходящийся на одну лампу  $\Phi/4 = 3188,45$  лм.

Выбираем ближайшую стандартную лампу.

Таблица 12.2 – Параметры лампы

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Световой поток, лм
				ЛБ
40	220	109	0,43	3200

Электрическая мощность всей системы  $P = 4 \cdot 40 \cdot 9 = 1440$  Вт.

Проверка:

$$E_{\text{расч}} = \Phi \cdot n \cdot \eta / S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100;$$

$$E_{\text{расч}} = 12753,82 \cdot 4 \cdot 49 / 50,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100 = 299,98 \text{ лк.}$$

$$0,9 \cdot E_n < E_{\text{расч}} < 1,2 \cdot E_n;$$

$$270 < 299,98 < 360.$$

### Влияние электромагнитных полей

Опасность воздействия магнитного поля на человека можно оценить по величине электромагнитной энергии, которая поглощена телом человека.

Уровни напряженности электрических полей напрямую зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне (ГОСТ 12.1.002-84 «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах»)

Таблица 12.3 - Допустимые уровни напряженности, продолжительность пребывания работающих без средств защиты в электрическом поле

Напряженность электрического поля, кВ/м	Допустимая продолжительность пребывания человека в течение суток в электрическом поле, мин
Менее 5	Без ограничений
От 5 до 10	Не более 180
Свыше 10-15	Не более 90
Свыше 15-20	Не более 10

Свыше 20-25	Не более 5
-------------	------------

Время допустимого пребывания в рабочей зоне в часах составляет:

$$T = 50/E - 2.$$

ПЭВМ являются источниками разнообразных излучений: ультрафиолетового, рентгеновского (мягкого), излучений радиочастотного диапазона; электростатических полей.

Оценка фактических значений электромагнитных излучений, при невозможности проведения измерений, может быть приведена по паспорту ПЭВМ, либо по данным о характеристиках рентгеновского излучения, генерируемого электровакуумными приборами и установками.

Предельно допустимая напряженность электромагнитного поля на рабочих местах не должна превышать в течение рабочего дня значений, представленных в таблицах 5.4 – 5.5

Таблица 12.4- Предельно допустимая напряженность по электрической составляющей электромагнитного поля

f, МГц	0,06-3	3,0-30,0	30-50	50-300
E, В/м	50	20	10	5

Таблица 12.5- Предельно допустимая напряженность по магнитной составляющей электромагнитного поля

f, МГц	0,06-1,5	30-50
E, В/м	5	0,3

Для защиты от излучений применяют защитные экраны и ограничивают время работы.

Рекомендуемая продолжительность рабочего дня - 4 часа, за 8-ми часовой рабочий день, для взрослого пользователя, использующего стандартный монитор с защитным фильтром.

Необходимо делать регулярные перерывы: после каждого часа работы на 10 минут (выключать монитор и покидать рабочее место).

### **Электробезопасность**

Опасность поражения электрическим током в отличие от других опасностей усугубляется тем, что человек не в силах без специальных приборов обнаружить присутствие напряжения на элементе и протекания по нему электрического тока. Опасность обнаруживается только тогда, когда человек уже поражён.

Нормативные документы: Правила устройства электроустановок, Межотраслевые правила безопасности при эксплуатации электроустановок 2001 год.

#### **а) Анализ опасности поражения электрическим током**

Согласно ПУЭ в отношении опасности поражения людей электрическим током офис работы инженера является помещением без повышенной опасности, т.к. это сухое, помещение с нормальной температурой воздуха.

#### **б) Меры защиты от поражения электрическим током**

Любая электрическая установка представляет для человека потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или проведения профилактических работ, человек может неумышленно коснуться токоведущих частей.

Важным местом с точки зрения электробезопасности является изоляция проводов. Качества изоляции могут ухудшиться из-за высокой влажности воздуха, а в результате возникновения короткого замыкания может произойти ее пробой. Во избежание, этого следует регулярно проводить профилактические работы.

#### **в) Организационные меры по обеспечению электробезопасности**

Рабочий персонал обязан соблюдать правила техники безопасности при работе с электроустановками до 1000 В, пройти обучение и получить группу допуска. Инженеру по охране труда необходимо предварительно провести вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте. Работы выполняются по наряду допуска или по распоряжению.

### **Экологическая безопасность**

В процессе работы в рабочей зоне существенного воздействия на окружающую среду не оказывается.

На рабочем месте сотрудника энергослужбы предприятия образуются следующие виды отходов:

- лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства;
- отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства;
- отходы упаковочной бумаги незагрязненные
- мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный);

Отработанные люминесцентные лампы относятся к отходам I класса опасности, поэтому подлежат временному накоплению в заводской таре, затем передаются в специализированные организации для обезвреживания и последующей утилизации (постановление Правительства РФ от 03.09.2010 N 681).

Остальные отходы IV-V классов опасности собираются в контейнеры для твердых коммунальных отходов организации, вывозом которых занимается специальная организация.

### **Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия (ГОСТ Р 22.0.01-2016)

На объекте возможно возникновение следующих видов ЧС: пожар; взрыв

К основным причинам возникновения ЧС можно отнести: стихийные бедствия; воздействие внешних природных факторов на конструкции и сооружения; дефекты, которые были допущены при проектировании и строительстве сооружений; воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений; нарушение правил техники безопасности при ведении работ и технологических процессов; ошибки, связанные с системой отбора

руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и специалистов и их некомпетентностью и безответственностью и т.д.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО. Они предназначены как для проведения спасательных работ в военное время, так и для ликвидации последствий стихийных бедствий и крупных аварий.

Важным условием быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

Организационно-технические мероприятия по повышению устойчивости объекта: планирование защиты населения и территорий от ЧС на уровне учебного заведения; эвакуация работающих; подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС; подготовка работающих к действиям в условиях ЧС; наличие и поддержание в постоянной готовности системы общего оперативного и локального оповещения и информации о ЧС.

### **Пожарная безопасность**

Пожар – процесс термического разложения или горения, который развивается вне специального очага, и наносящий ущерб населению и государству.

Возможные причины пожара: электрический характер (КЗ, нагрев проводки неисправность технологического оборудования); открытый огонь (курение, искры); удар молнии; статическое электричество; взрыв; воздействие стихийных явлений.

Пожарная безопасность - это состояние защищенности, людей, материальных ценностей, зданий, государства от пожаров.

К опасным факторам пожара для людей можно отнести: открытый огонь, дым, взрывы, повышенная температура воздуха и предметов, токсичные продукты горения, пониженная концентрация кислорода в воздухе и т.д. Согласно ФЗ-123(ред. от 13.07.2015) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», помещения и здания по пожаровзрывной и пожарной опасности классифицируются на категории А, Б, В, Г и Д. Помещение проектного отдела относится к категории В - пожароопасное, т.е. помещения, в которых горючие и трудногорючие вещества и материалы способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть.

Согласно ПУЭ классом зоны пожароопасности этих помещений является П - 2а, т.е. зона, расположенная в помещениях, в которых обращаются твёрдые горючие вещества.

Мероприятия противопожарной профилактики: хранить информацию желательно в обособленных помещениях, оборудованных несгораемыми шкафами и стеллажами; в помещениях, смежных с залами для ПЭВМ, не желательно размещение производств категории «А» и «В»; система вентиляции должны быть оборудована устройством, обеспечивающим автоматическое отключение при пожаре; подачу воздуха к ПЭВМ, для охлаждения, необходимо предусматривать по самостоятельному воздуховоду; система электропитания ПЭВМ должна иметь блокировку, обеспечивающую отключение в случае охлаждения; работы по ремонту узлов ПЭВМ должны производиться в отдельных помещениях; необходимо производить очистку от пыли всех аппаратов и узлов ПЭВМ (желательно раз в месяц); во избежание возникновения короткого замыкания проводки необходимо контролировать сопротивление изоляции  $R_{из} > 0,5 \text{ МОм}$ ; в офисе должна предусматриваться автоматическая пожарная сигнализация, также необходимо устанавливать реле, реагирующее на дым.

В помещениях и в коридорах, а также на лестничных площадках устанавливаются пожарные краны, огнетушители согласно постановлению правительства №390 «О противопожарном режиме»



При возгорании или возникновении пожара следует немедленно начать эвакуацию людей, отключить подачу воздуха по системе вентиляции, обесточить помещение и вызвать пожарную охрану.

Средствами пожаротушения являются: вода, водохимические растворы, огнетушащие пены, инертные газы, ингибиторы и флегматизаторы и т.д.

Организационные меры по обеспечению пожаробезопасности:

- во избежание пожаров необходимо периодически производить инструктаж с персоналом по пожаробезопасности;

- недопустимо приносить и хранить в комнатах взрывопожароопасные вещества и материалы.

При обнаружении пожара, необходимо:

- определить причину пожара;
- если горит электрооборудование, которое не отключено и находится под напряжением, то необходимо снять напряжение;
- обеспечить вынужденную эвакуацию всех людей;

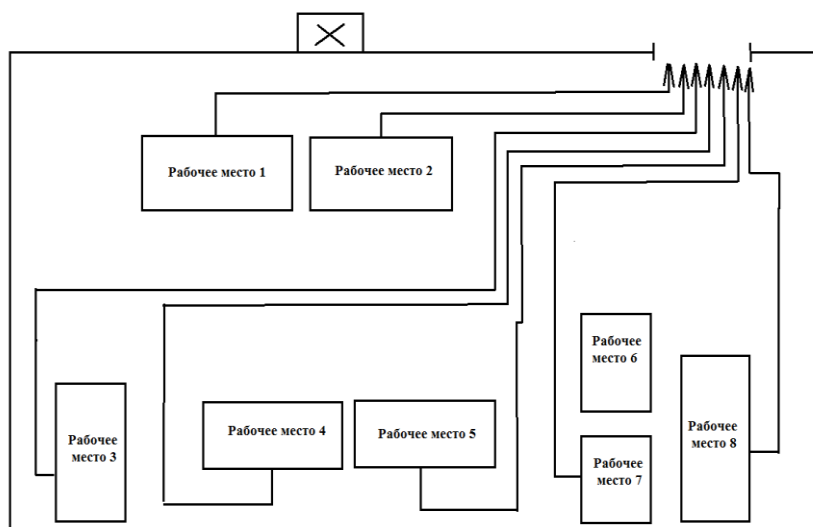


Рисунок 12.2 – План эвакуации из проектного офиса.

Условные обозначения:  - Огнетушитель ОУ 5

## Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать: - ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; - поверхность сиденья с закругленным передним краем; - регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.; - высоту опорной поверхности спинки  $300 \pm 20$  мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм; - угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах  $\pm 30$  градусов; - регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм; - стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм; - регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах  $230 \pm 30$  мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм. Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до  $20^\circ$ . Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо - восток.

Выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее:

1. Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм;
2. Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5-2,0 м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4-0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики;
3. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ;
4. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию;
5. Стул не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм.

### **Заключение**

В ходе работы мы произвели все нужные расчеты, необходимые для выбора элементов электроснабжения кузнечного цеха химического завода. На основании полученных результатов мы приняли следующие решения:

- 1) Питание ГПП завода от системы осуществляется воздушной ЛЭП напряжением 110 кВ сталеалюминиевыми проводами марки АС-95.
- 2) ГПП расположилась в северо-западной части завода, с некоторым смещением от центра электрических нагрузок.
- 3) В качестве силовых трансформаторов было выбрано 2 трансформатора типа ТМН-16000/110.
- 4) В РУ-6кВ ГПП установлены вакуумные выключатели типа ВВ/TEL
- 5) В качестве цеховых трансформаторов выбрано 7 силовых трансформаторов типа ТМЗ-16000/110. В кузнечном цехе установлена однотрансформаторная КТП.
- 6) Внутривзаводская и внутрицеховая схемы электроснабжения выполнены кабелями с алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена, которые на сегодняшний день имеют ряд преимуществ в отношении других типов кабелей.
- 7) В качестве защитной аппаратуры были выбраны автоматические выключатели.

Были проведены все необходимые проверки, предусмотренные для оценки правильности всех решений принятых в данной работе.

## Список литературы

- 1.Справочник по проектированию электроснабжения/под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с. – (Электроустановки промышленных предприятий/Под общ. ред. Ю.Н. Тищенко и др.)
2. Барченко Т.Н., Закиров Р.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие к курсовому проекту. Томск, изд. ТПИ им. С.М.Кирова,1988. – 96 с.
3. Гаврилин А.И., Обухов С.Г., Озга А.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра для студентов направления 551700 – «Электроэнергетика» - Томск: Изд. ТПУ,2004.-112с.
4. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие для техникумов. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 528с.: ил.
5. Постников Н.П., Рубашов Г.М. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник для техникумов. – Л.: Стройиздат, Ленингр. Отделение, 1980.– 376с.,ил
6. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / ТПУ. – Томск, 2005. – 168 с.
7. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий/ под общей редакцией профессоров

МЭИ(ТУ) С. И. Гамазина, Б. И. Кудрина, С. А. Цырука. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. -745[7]с.:ил.

8. Сумарокова Л. П. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие/ Л. П. Сумарокова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012-288с.